Е. АЙСБЕРГ
Ж.-П. ДУРИ



ЦВЕТНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ?.. ЭТО ПОЧТИ ПРОСТО!





МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

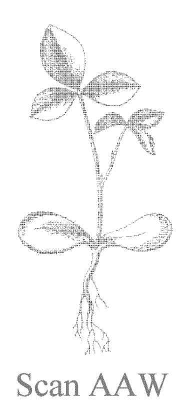
Выпуск 701

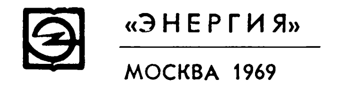
Е. АЙСБЕРГ и Ж.-П. ДУРИ

ЦВЕТНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ?.. ЭТО ПОЧТИ ПРОСТО!

Под общей редакцией
В. Ф. САМОЙЛОВА

Перевод с французского
Ю. Л. СМИРНОВА





«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1969

6Ф3.3
А 36
УДК 621.397-2

Айсберг Е. и Дури Ж.-П.
А 36 Цветное телевидение?.. Это почти просто! Пер. с франц. М., «Энергия», 1969

120 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 701)

В виде занимательной беседы рассматривается цвет как физическое явление и объясняется его психофизиологическое восприятие, излагаются основы колориметрии. Рассказывается о принципах последовательной и одновременной передачи цветного телевизионного изображения и приводятся характеристики основных систем цветного телевидения.
Приводится описание типовой схемы телевизора для системы SECAM и методов настройки такого телевизора.
Рассчитана на широкий круг радиолюбителей.

3-4-5
———
338-69

6Ф3.3

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Выпуская в свет эту книгу, редакция Массовой радиобиблиотеки издательства «Энергия» продолжает публикацию серии научно-популярных книг по радиотехнике, объединенных общим названием «Это очень просто!»

Как и все работы Айсберга, эта книга должна ознакомить читателя с новой техникой. В отношении цветного телевидения это особенно важно, так как о нем написано еще сравнительно мало.

При написании новой книги Е. Айсберг пригласил в соавторы французского специалиста в области цветного телевидения Ж.-П. Дури, участвовавшего в создании системы SECAM.

Цветное телевидение, вобравшее достижения многих отраслей радиоэлектроники, несомненно, является более сложным, чем черно-белое, поэтому авторы отказались от традиционного названия и написали «Это почти просто!».

По той же причине изложение материала в новой книге несколько отличается от предыдущего. Так, в гл. 4, 6, 7 и 9 авторы отходят от своей традиционной формы — диалога двух старых друзей — Незнайкина и Любознайкина.

После изложения основ колориметрии и описания конструкций различных типов используемых кинескопов авторы описывают три основные системы современного цветного телевидения — NTSC, SECAM, PAL.

Подробно рассматривается типовая схема телевизора для системы SECAM, а в заключение описывается процесс настройки такого телевизора.

Редакция Массовой радиобиблиотеки надеется, что эта книга поможет радиолюбителям не только понять принципы цветного телевидения, но и позволит применить свои знания на практике.

Все отзывы и пожелания просим, как и прежде, направлять по адресу: Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10, издательство «Энергия», редакция Массовой радиобиблиотеки.

Редакция Массовой радиобиблиотеки

СОРОК ЛЕТ СПУСТЯ

Прошло уже более 40 лет с тех пор, когда на заре радиовещания моя книга **«Я понял радио»** должна была облегчить понимание основ радиотехники сотням тысяч читателей как во Франции, так и во многих других странах.

После появления радиоламп с подогревным катодом потребовалось написать новую книгу с анализом анатомии и физиологии сетевых радиоприемников. Так родилась книга **«Радио?.. Это очень просто!»**, которая, непрерывно пополняясь и обновляясь, и сегодня остается основным пособием, открывающим двери в область радиоэлектроники.

Изобретение транзистора в 1948 г. положило начало эре полупроводниковых приборов. Для облегчения необходимого перехода в другую эру оба действующих лица из предыдущей книги — **Любознайкин** и **Незнайкин** вновь встретились для беседы на страницах книги **«Транзистор?.. Это очень просто!»**.

В книге **«Телевидение?.. Это очень просто!»** эти же вечно молодые люди изучают технику передачи «черно-белых» изображений, и там они лишь слегка касаются проблемы цвета.

* *
*

Но вот пришло цветное телевидение. Его появлению в Европе предшествовали бессчетные дискуссии. Выбрать систему цветного телевидения из числа предложенных оказалось весьма трудно, так как к чисто техническим факторам (которые одни, казалось бы, и должны были приниматься во внимание) добавились соображения финансового и даже политического характера. Печальный результат: Европа еще раз оказалась разделенной.

Однако существующие системы различаются между собой всего лишь одной десятой основных принципов, другие же девять десятых для всех систем одинаковы.

Любознайкин и **Незнайкин** не могли остаться безразличными к появлению цветного телевидения. Отовсюду меня

спрашивали, когда же выйдет книга **«Цветное телевидение?.. Это очень просто!».**

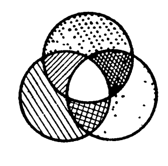
Но с этим названием я не мог согласиться. Если ахроматическое телевидение по своей сложности представляет радио в квадрате, то цветное телевидение — радио в кубе. Поэтому у нас появилось искушение назвать эту книгу «Цветное телевидение?.. Но это дьявольски сложно!» — как любит выражаться **Незнайкин.** Но избранное в конечном итоге название довольно близко к истине и отражает доступность, с которой **Любознайкину** и его дяде Радиолю удалось изложить принципы цветного телевидения.

Для написания настоящей книги я пригласил в соавторы своего друга радиоинженера Жана-Пьера Дури, который работает в области цветного телевидения в той самой технической организации, где родилась французская система **SECAM.** Его помощь была для меня исключительно полезной, так как ничто не может заменить опыт, приобретенный в процессе такой работы, когда в одной руке держишь дифференциальные уравнения, а другой работаешь паяльником и крутишь ручки осциллографа. А кроме того, Жан-Пьер Дури прочитал большое количество лекций и провел ряд демонстраций в различных странах Европы и Ближнего Востока, благодаря чему приобрел навык очень ясно и доходчиво излагать принципы новой техники.

И если затраченное внимание увенчается такой высшей наградой, как понимание, то к удовлетворению читателя прибавится и удовлетворение авторов.

Е. Айсберг

Любознайкин и **Незнайкин** — два молодых человека, которых хорошо знают все, кто прочитал «Радио?.. Это очень просто!» и две другие книги с подобными названиями, из которых одна посвящена транзисторам, а другая — телевидению. **Любознайкин** обучил своего друга **Незнайкина** основным принципам этих различных областей радиоэлектроники. **Незнайкин** далеко не глуп; в этом можно убедиться из приведенного ниже его письма; он желает лишь одного, чтобы его имя соответствовало ему все меньше и меньше. Читателю остается только разделить его жажду познания.


ВОСШЕСТВИЕ ЦВЕТА НА ПРЕСТОЛ

Письмо Незнайкина Любознайкину

Дорогой друг Любознайкин!

Мои неприятности продолжаются! На мой взгляд события развиваются слишком быстро: технический прогресс непрерывно ускоряется.

Едва с помощью наших бесед я усвоил основы радиотехники и изучил схемы на лампах, как произошло победное вторжение полупроводников, которые все перевернули в этой области. Ты помог мне понять нравы транзисторов, и я очень благодарен тебе за это. Однако я спрашиваю себя, не придет ли в один прекрасный день на смену эре ламп, а затем эре транзисторов какая-нибудь новая эра, которая сделает устаревшими все понятия, усвоенные мною с таким трудом...

Вот сегодня я столкнулся с новой революцией. И это не преувеличение. Ты познакомил меня с секретами телевидения. И я говорил себе, что в этой области все достаточно стабилизировалось... Но горе мне! Еще раз все перевернулось с восшествием на престол цветного телевидения.



У меня сложилось впечатление, что эта новая техника бесконечно сложнее техники передачи черно-белых изображений, которая сама по себе дьявольски сложна.

Что же мне делать? Как поступить в этой новой ситуации? И зачем понадобилось вводить этот проклятый цвет, когда и без него все прекрасно шло в черных и белых тонах?

Я спрашиваю себя, не лучше ли мне забросить радиоэлектронику и заняться сельским хозяйством. Что ты об этом думаешь?

Твой верный друг Незнайкин

Ответ Любознайкина Незнайкину

Бедный мой Незнайкин!

Твое письмо, настоящий крик отчаяния, меня глубоко взволновало. Я без промедления отвечаю тебе, чтобы предотвратить непоправимое.

Конечно, сельскому хозяйству не хватает рабочих рук, но радиоэлектроника нуждается в умах, и твой ум будет для нее весьма ценным.

Неизбежный вывод: тебе необходимо пополнить свои знания; приступай к изучению новой техники — цветного телевидения.

Но не будь несправедливым: не осыпай упреками исследователей, которые, подвергая пыткам свое серое вещество, дали человечеству это чудесное средство оживить экраны телевизоров. Ибо, как сказал один, не помню какой великий человек (если только эта гениальная мысль не моя собственная), *цвет — это жизнь.*

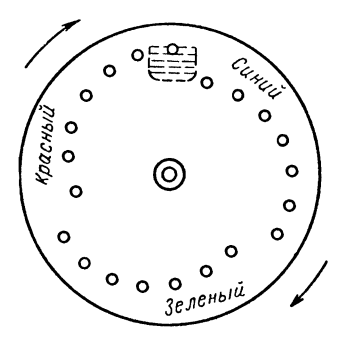


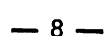
Рис. 1. Диск Нипкова, приспособленный Дж. Л. Бердом для передачи цветных изображений.

Посмотри на пейзаж через темные солнечные очки: пейзаж сразу становится печальным, серым и монотонным. Сними очки, и все становится живым, наполняется сверкающими красками. Здесь такая же разница, как между простенькой мелодией на одной флейте и симфонией, исполняемой большим оркестром, обладающим бесконечным разнообразием звуков.

Подумай, как обогатил цвет фотографию, кино, а также и журналы. Как можно было бы не попытаться дать такие возможности и телевидению?

Справедливости ради необходимо сказать, что уже в самом начале истории телевидения предпринимались попытки передавать цветные изображения. Пионер механического телевидения Джон Лоджи Берд, которому в 1925 г. удалось с помощью диска Нипкова разложить и восстановить изображение, уже занимался проблемой цвета. Не дойдя до практических экспериментов, гениальный шотландец предложил сделать диск с тремя сериями отверстий, прикрытых фильтрами, чтобы разлагать, а затем воспроизводить изображение последовательно в красном, синем и зеленом цветах; однако проверить свою идею на практике ему не удалось. Таким образом, принцип трехцветного изображения, впрочем в чисто теоретическом плане, появился в телевидении уже тогда, когда оно еще делало свои первые шаги.

Первые практические воплощения увидели свет лишь после второй мировой войны. Английская фирма PYE («Пай»), а по другую сторону Атлантического океана радиовещательная компания Columbia Broadcasting System («Каламбия Бродкастинг Систем») демонстрировали весьма удачную передачу цветных изображений. Перед экраном электроннолучевой



трубки (в то время довольно маленьким) вращается диск, состоящий из трех фильтров: красного, синего и зеленого цвета. Таким образом изображение поочередно появляется окрашенным в каждый из этих трех цветов. Следовательно, на передающей стороне должен стоять синхронно вращающийся диск, последовательно разлагающий изображение на три цвета. Эти цвета следуют один за другим с достаточно высокой скоростью, чтобы их восприятия, совмещаясь в органах чувств зрителя, правильно воспроизводили цвета оригинала...

Но, излагая принципы этой системы, не внушив тебе предварительно основных понятий о цвете и его восприятии человеком, я допускаю ошибку.

Поэтому я воздержусь сейчас от объяснения, как действует система NTSC, используемая в Соединенных Штатах и Японии, где миллионы семей уже имеют телевизоры для приема цветных передач. Не больше скажу я тебе сейчас и о принципах французской системы SECAM и немецкой системы PAL, которые приняты европейскими странами. Запомни только, что **все три существующие в настоящее время системы на 90% основаны на одних и тех же принципах** и, следовательно, различаются между собой всего лишь на 10%. Вот, что должно тебя немного успокоить в преддверии твоей новой учебы.

Синий
Красный
Зеленый

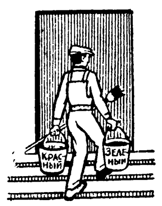
Рис. 2. Установленный перед экраном (обозначен пунктирной линией) трехцветный фильтр; он вращается таким образом, что изображение видно поочередно синим, зеленым и красным.

Это, мой дорогой друг, представляется мне совершенно необходимым. Тебе нужно освоиться с цветным телевидением, потому что оно быстро завоюет основные страны нашего старого континента. Оно принесет в нашу жизнь не только новое измерение, неожиданные возможности для создания программ и истинное наслаждение для глаз, но, что, пожалуй, наиболее важно, оно значительно облегчит и повысит эффективность обучения по телевидению. Излишне говорить о значении телевидения в распространении знаний, особенно в развивающихся странах, где аудитория разбросана по бескрайней территории и где так не хватает преподавателей...



Я надеюсь, что доказал тебе, что внедрение цвета в телевидение имеет бесспорный интерес. Я готов, если ты пожелаешь, помочь тебе овладеть тем новым, что вносит эта эволюция техники.

Хочешь ли ты изучить цветное телевидение? Тогда заходи ко мне поболтать, как только найдешь время.



Твой друг Любознайкин

ГЛАВА 2

Прежде чем говорить о передаче цветных изображений, следует уточнить различные характеристики цвета как физического явления и его восприятия. Именно этому и посвящена настоящая беседа, в которой рассматриваются следующие вопросы:

Определение цветного телевидения. Границы видимого света. Спектральный анализ белого света. Хроматическая аберрация. Разрешающая способность. Средний глаз и дальтонизм. Анатомия и физиология глаза.

ВЗГЛЯД НА ГЛАЗ

Что есть что?

Любознайкин. — Рад тебя видеть, Незнайкин. Но почему у тебя недовольный вид?

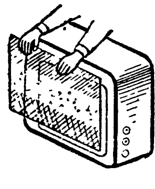
Незнайкин. — Я взбешен! Можно ли до такой степени злоупотреблять человеческой доверчивостью?! Это возмутительно!

Л. — Успокойся, дорогой друг. Объясни же причину своего негодования.

Н. — Все очень просто. Мои соседи, очаровательная молодая чета, пригласили меня к себе посмотреть цветное телевидение. Как они мне сказали, за небольшую цену они приобрели чудесное приспособление, которое превратило их черно-белый телевизор в приемник для цветных изображений.

Л. — Это представляется мне совершенно невозможным. Что же ты у них увидел?

Н. — Просто-напросто установленный перед экраном окрашенный фильтр. Нижняя четверть фильтра зелено-желтая, верхняя четверть — голубая, а середина — оранжевая; цвета постепенно переходят один в другой. Пока передают пейзажи — это еще приемлемо: растения получаются зелеными, а небо — голубым — это еще довольно приятно для глаз. Но когда на экране крупным планом появилось лицо диктора, эффект был просто ужасен...



Л. — Само собой разумеется, что это не имеет ничего общего с настоящим цветным телевидением. Изобретательные фабриканты раскрашенных фильтров ловко сыграли на словах. А в этой области необходимо четко договориться о точном смысле терминов, которыми нам предстоит пользоваться.

Н. — Мне кажется, что выражения «черно-белый телевизор» и «цветной телевизор» сами по себе достаточно понятны и не требуют дополнительных определений.

Л. — Ты очень ошибаешься, мой друг. Можно ли говорить о «черно-белом», когда имеешь дело с целой гаммой

промежуточных серых тонов? А знаешь ли ты, что флюоресцирующий слой экрана у некоторых кинескопов дает изображение синеватого оттенка, а у других цвета сепии? Поэтому, на мой взгляд, правильнее говорить о *монохроматическом телевидении,* так как мы видим одноцветные изображения (от греческого «монос» — один и «хрома» — цвет).

Н. — Я думаю, что при таком подходе настоящее цветное телевидение, где изображение появляется в разных цветах, следовало бы назвать *полихроматическим* (от греческого «полус» — много).

Физическое явление и его восприятие

Л. — И ты прав. Однако теперь, когда мы точно определили смысл выражений, мы будем одинаково пользоваться терминами «черно-белый» или «монохроматический» и «цвет-

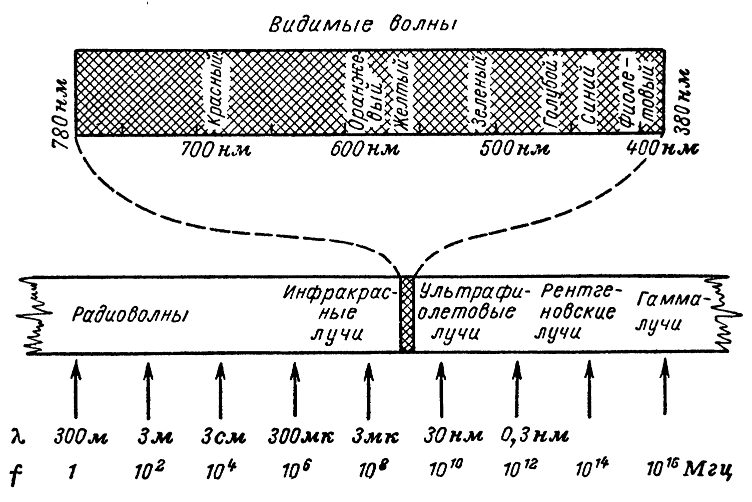


Рис. 3. В обширном спектре (внизу) электромагнитных волн видимый свет занимает лишь узкую полоску, которая в значительно увеличенном виде показана вверху (см. этот рисунок на цветной вклейке).

ной» или «полихроматический». Более важно установить различия между *объективным цветом* и *субъективным цветом.*

Н. — Что ты подразумеваешь под этими выражениями?

Л. — Много путаницы происходило в науке из-за того, что не устанавливали четкого различия между физическим явлением и его восприятием.



Н. — Это из области философии? Конкретный пример помог бы мне лучше схватить твою мысль.

Л. — Я возьму этот пример из наиболее знакомой тебе области — из акустики. Какие характеристики различаешь ты в попадающем в твои уши звуке?

Н. — Прежде всего *высоту,* так как звук может быть низким, средним и высоким. Затем *тембр,* на одной и той же высоте флейта и скрипка издают разные звуки. И, наконец, *громкость,* или, если ты предпочитаешь, «силу», которая

может идти от едва слышимого *пианиссимо* до разрывающего барабанные перепонки *фортиссимо*.

Л. — Очень хорошо. Ты описал свое восприятие звука, но чему оно соответствует с точки зрения физики?

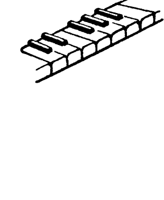
Н. — Высота зависит от *частоты* продольных колебаний молекул воздуха. Тембр зависит от *гармоник,* сопровождающих *основную частоту*. Громкость звука является функцией амплитуды колебаний.

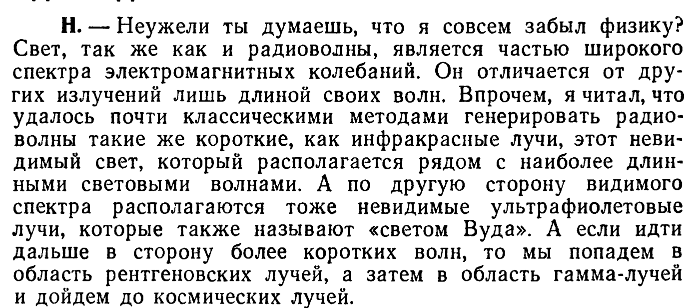
Л. — Отлично, дорогой друг! Ты точно установил различия между физическим явлением и его восприятием, которое относится к сфере физиологии. А теперь мы постараемся провести такие же различия в области света...

Н. — ...и все станет светящимся! И я этого очень хочу, так как все относящееся к цвету представляется мне абсолютно темным... поверь мне, я это говорю не ради игры слов.

Л. — Так начнем же с самого начала. Что же такое свет?

Едва одна октава...





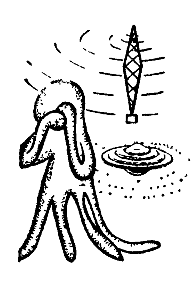
Н. — Неужели ты думаешь, что я совсем забыл физику? Свет, так же как и радиоволны, является частью широкого спектра электромагнитных колебаний. Он отличается от других излучений лишь длиной своих волн. Впрочем, я читал, что удалось почти классическими методами генерировать радиоволны такие же короткие, как инфракрасные лучи, этот невидимый свет, который располагается рядом с наиболее длинными световыми волнами. А по другую сторону видимого спектра располагаются тоже невидимые ультрафиолетовые лучи, которые также называют «светом Вуда». А если идти дальше в сторону более коротких волн, то мы попадем в область рентгеновских лучей, а затем в область гамма-лучей и дойдем до космических лучей.

Л. — Ты говоришь как по книге! Можешь ли ты уточнить длины световых волн и сказать, какое место они занимают в спектре электромагнитных колебаний?



Н. — У меня плохая память на цифры. Но я помню, что по частоте световые волны занимают лишь одну октаву; это означает, что частота волны фиолетового цвета вдвое больше частоты волны красного цвета.

Л. — Правильно. Видимый свет располагается на участке спектра от 790 до 385 *Тгц*. Я позволю себе напомнить тебе, что терагерц (*Тгц*) равен 1 000 000 000 000 *гц* или одному миллиону мегагерц. По длине же волн спектр видимого света соответствует волнам от 380 до 780 *нм*. Ты, очевидно, знаешь, что нанометр (*нм*) или миллимикрон (*ммк*) соответствует 0,000000001 *м*; а, кстати говоря, правильнее было бы сказать «миллимикрометр». А ты также знаешь, что сейчас практически не пользуются единицей длины «ангстремом» (Å), которая равна 0,1 *нм*.



Н. — Границы волн, которые ты даешь для видимого света, определяются как раз нашими органами зрения. И возможно, что в другом мире, населенном существами с иной, чем у нас, анатомией и физиологией, воспринимаемые органами зрения электромагнитные волны расположены в другой части спектра частот. Представь себе одно из таких созданий, высаживающееся у нас из летающего блюдца и... ослепленное волнами радиопередатчика.

Л. — Я вижу, что ты читаешь много научно-фантастических книг. Я совершенно не намерен осуждать тебя за это, так как сегодняшняя фантастика завтра часто становится

реальностью. Разумеется, можно сказать, что свет и цвет существуют лишь в той мере, в какой мы их воспринимаем. Некоторые философы утверждают, что мир существует лишь в нашем сознании. Но это уводит нас от нашей темы, а мы должны сейчас заняться изучением света. Свет, который доходит к нам от солнца.

Белый свет

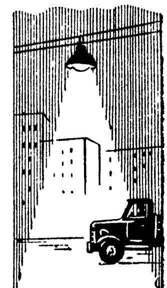
Н. — Сверкающий Феб[1] заливает нас белым светом, который, как доказал Ньютон, на самом деле состоит из излучений всех цветов.

Классический эксперимент с призмой позволяет разложить белый свет на непрерывный цветной спектр. Угол преломления зависит от частоты. Поэтому, проходя через призму, фиолетовые лучи в большей, а красные в меньшей степени отклоняются от своей первоначальной траектории. Между этими двумя крайними точками размещаются синий, голубой, зеленый, желтый и оранжевые цвета.

Л. — Я счастлив слышать, как ты сказал «*непрерывный* цветной спектр». Действительно, в полученной с помощью призмы полосе цветовые тона постепенно без четкой границы переходят один в другой. И лишь для удобства определенные участки этой полосы условно обозначают различными названиями (фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый и красный). Существование среди этих условных названий цвета «синий» объясняется лишь стремлением наших дедушек иметь семь цветов; цифра 7 играла известную роль в различных мистических рассуждениях. На самом же деле более обоснованно дать специальное название цвету, занимающему промежуточное положение между зеленым и голубым: это бирюза, но для его обозначения приняли английский термин «*циан*» (сине-зеленый). Как бы там ни было, мы имеем в спектре излучение *всех* частот в пределах, указанных выше границ.

Н. — И перед нашими глазами выставляются как на показ все возможные цвета?

Л. — Далеко не все. Ибо полученные с помощью призмы спектр или радуга (возникающая в небе тоже в результате преломления света на дождевых капельках) не содержат пурпурного цвета, который получается в результате смешения красного и фиолетового, этих двух крайних цветов спектра видимого света. Но этот пурпурный цвет существует лишь в нашем восприятии; он получается в результате одновременного восприятия красного и фиолетового излучений, соотношения между которыми, впрочем, могут изменяться в широких пределах.



Н. — А можно ли здесь как и в радиотехнике излучать не всю полосу частот, какой является солнечный свет, а только колебания одной частоты?

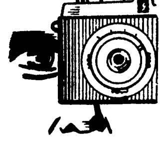
Л. — Такой результат можно получить, накаляя различные газы. Накаленные газы дают *прерывистый* (линейчатый) *спектр* испускания. Так, например, используемые для уличного освещения мощные натриевые лампы излучают желтый свет с длиной волны 589 и 589,6 *мн*, т. е. практически *монохроматический*, что позволяет лучше видеть.

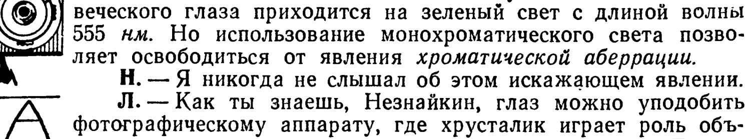
Н. — Почему? Разве желтый цвет лучше воспринимается человеческим глазом?

---

[1] Второе имя Аполлона как божества солнечного света.

Хроматическая аберрация





Л. — Совсем нет. Максимальная чувствительность человеческого глаза приходится на зеленый свет с длиной волны 555 *нм*. Но использование монохроматического света позволяет освободиться от явления *хроматической аберрации.*

Н. — Я никогда не слышал об этом искажающем явлении.

Л. — Как ты знаешь, Незнайкин, глаз можно уподобить фотографическому аппарату, где хрусталик играет роль объектива, а сетчатка — роль светочувствительного слоя. Только что говоря о призме, мы разве не отмечали, что коэффициент преломления изменяется в зависимости от длины волны? Линзу или объектив, состоящий из нескольких линз, можно рассматривать как множество призм. Лучи здесь преломляются и собираются в одной точке, именуемой «фокусом».

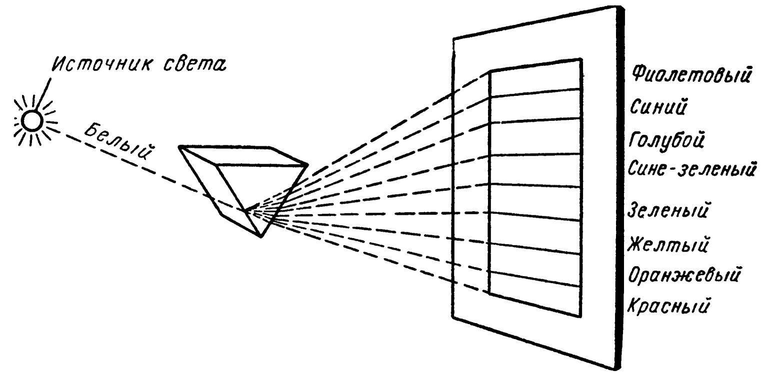


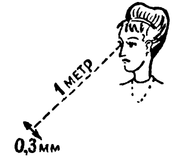
Рис. 4. При прохождении через призму белый свет разлагается и дает непрерывный спектр цветов (см. этот рисунок на цветной вклейке).



Теперь ты понимаешь, что у синих лучей фокус располагается ближе к объективу, а у красных лучей — дальше от него. Когда мы рассматриваем многоцветное изображение, хрусталик настраивается (т. е. изгибается) таким образом, чтобы фокус зеленых лучей оказался в плоскости сетчатки.

Н. — Но тогда фокус для синих лучей окажется перед сетчаткой, а фокус для красных лучей — позади нее?

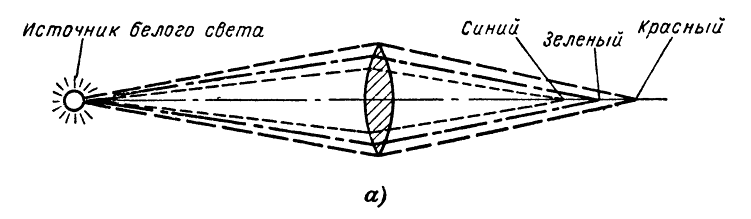
Л. — Превосходно. Я вижу, что ты хорошо понял суть этой хроматической аберрации, из-за которой мы не можем одновременно видеть одинаково четко все элементы многоцветного изображения. Но при монохроматическом освещении, как это имеет место при использовании натриевых ламп, аккомодация глаза производится точно на единственную волну, в данном случае на волну желтого света, и видимое изображение образуется строго в плоскости сетчатки.



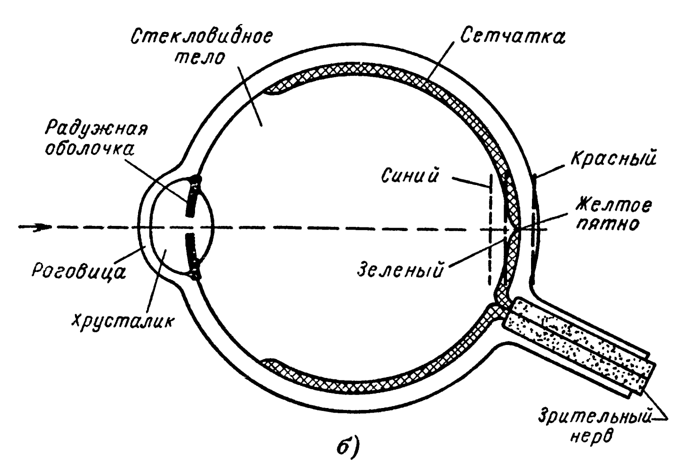
Н. — Если я правильно понял, мы не можем видеть цветные изображения с такой же хорошей четкостью, как изображения монохроматические.

Л. — Ты прав, дорогой друг. Однако разрешающая способность среднего глаза по оси взгляда так же хороша для цветных, как и для так называемых «черно-белых» изображений. Она примерно равна одной угловой минуте, то есть $^1/_{60}$ части градуса. На расстоянии в 1 *м* «средний глаз» спо-

собен различить две точки, разнесенные на 0,3 *мм*. Но такая разрешающая способность не распространяется на изображения, сфокусированные впереди или позади плоскости сетчатки.



а)



б)

Рис. 5.

а — исходящие из одной какой-либо точки лучи разного цвета собираются линзой в более или менее удаленных фокусах в зависимости от частоты различных составляющих света; *б* — схематический разрез глаза. Хрусталик играет роль линзы. Изображение многоцветного предмета образуется в нескольких плоскостях: если аккомодация (достигающаяся изменением кривизны хрусталика) производится по зеленым лучам (к которым глаз наиболее чувствителен), зеленое изображение оказывается в плоскости сетчатки; синее изображение располагается впереди, а красное позади сетчатки. Это означает, что два последних изображения получаются нерезкими (см. этот рисунок на цветной вклейке).

Статистические фикции

Н. — Что ты называешь «средним глазом!»?

Л. — Это такая же статистическая фикция как «средний француз». О нем известно, что за год он потребляет 101,5 *кг* хлеба, 2,7 *кг* парижской (вареной) ветчины, 16,6 *кг* говядины, 37,1 *л* пива и 170 *л* виноградного вина [1]. В природе же такого индивидуума не существует. Точно так же нельзя найти и настоящий «средний глаз». Его характеристики составлены на основе измерений, проведенных на тысячах людей, подобранных



[1] Данные взяты из «Статистического ежегодника Франции», изданного в 1964 г., и относятся к 1962 г.

таким образом, чтобы по их показателям можно было вынести средние значения для всего человечества. Именно так была составлена кривая *хроматической чувствительности* среднего глаза, которая показывает, что при равной мощности излучения способность восприятия снижается по мере удаления от максимума, который, как я уже говорил, приходится на зеленый участок спектра. А когда восприятие становится равным нулю, мы выходим за пределы видимого света. Эта кривая играет очень важную роль в технике цветного телевидения. Но я должен повторить еще раз, что она относится к «среднему глазу» и это означает, что в реальной жизни могут быть значительные индивидуальные отклонения.

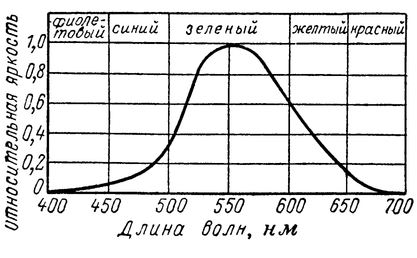


Рис. 6. Кривая относительной чувствительности среднего глаза к различным цветам спектра.

Н. — Ну, если продолжать разговор на эту тему, я могу сказать, что имеются люди, вообще не способные различать цвета. Их называют *дальтониками.* Один мой приятель страдает таким недугом. Он признался мне в этом, когда я однажды увидел его разгуливающим в одном зеленом и в одном красном носках.



Л. — Примерно один человек из двухсот не способен различать цвета. Весьма любопытно, что этот недостаток чаще встречается у мужчин, чем у женщин. Имеются также индивидуумы, глаза которых абсолютно нечувствительны к цветам, расположенным близко к красному краю спектра.

Н. — Значит, наш глаз очень далек от того совершенного инструмента, достойного самого большого доверия, о котором свидетельствует выражение «Я это видел своими глазами»... Это очень печально! Кому же и чему же верить?

Рациональное использование недостатков

Л. — Не сетуй на это. Я очень часто говорил тебе, что величайшее искусство жизни заключается в умении извлекать пользу из недостатков вещей и людей. Кино и телевидение удалось создать лишь потому, что наши органы зрения обладают известной медлительностью, обеспечивающей устойчивость наших зрительных ощущений в течение доброй десятой доли секунды. И ты увидишь, что методы цветного телевидения с выгодой используют некоторые несовершенства нашего зрения, как, например, вызываемый хроматической аберрацией недостаток четкости при рассматривании цветных изображений, или некоторый недостаток «избирательности», мешающий четко различать два цвета, у которых длины волн мало различаются одна от другой. Может быть, ты заметил, что человеческий глаз вообще не различает цвета очень маленьких или очень тонких предметов?

Н. — Это я знаю. Моя мать, когда она хочет подобрать нитки к цвету ткани, накладывает на ткань не одну нитку, а всю катушку.



Л. — По этой же причине хорошо знающий свое дело типограф берет для печати цветных текстов жирный шрифт; при использовании тонкого шрифта нельзя разобрать, каким цветом напечатан текст. Это должно помочь тебе, Незнайкин, понять, что *нам незачем заботиться о восстановлении в цвете очень мелких деталей нашего изображения.*

Н. — Я догадываюсь, что благодаря этому при передаче цветной программы по телевидению можно ограничиться относительно узкой полосой видеосигнала.

Л. — Совершенно верно. Но прежде чем подойти к этому, целесообразно внимательнее рассмотреть физиологические свойства цвета и их соотношение с его физическими характеристиками. Для этого нужно ближе познакомиться с органом восприятия световых лучей, которым является наш глаз.

Анатомия и физиология глаза

Н. — Мне думается, что я достаточно хорошо знаю этот вопрос. Мы уже говорили, что человеческий глаз можно уподобить фотографическому аппарату. Хрусталик похож на автоматически наводящийся на резкость объектив; окружающие его мышцы изменяют его кривизну, чтобы навести на резкость в зависимости от расстояния до объекта и тем самым сделать предельно четким проецируемое на сетчатку изображение.

Л. — Очень хорошо, мой друг. Продолжай свой рассказ и объясни устройство и роль сетчатки.

Н. — Сетчатка как ковром покрывает дно глаза. Она служит как бы светочувствительным слоем. Я знаю, что свет вызывает в ней химические и электрические реакции и что зрительный нерв передает сведения о них в мозг, где они воспринимаются как световая картина. Но я не могу детально проанализировать эти реакции.

Л. — И я не могу сделать этого, так как пока еще нет научного объяснения многих явлений из этой области. Но мы уже знаем устройство светочувствительных элементов сетчатки. В соответствии с их формой их называют «колбочками» и «палочками». Каждый глаз содержит около 120 миллионов палочек и около 6 миллионов колбочек. Это показывает тебе, как малы эти элементы.

Н. — А какие функции выполняют эти элементы?

Л. — Колбочки воспринимают цвета, а палочки реагируют только на интенсивность света независимо от его окраски. Они намного (в несколько тысяч раз!) чувствительней к свету, чем колбочки. К тому же они неодинаково чувствительны к различным длинам волн; наибольшей чувствительностью они обладают в зелено-желтом участке спектра, в красном участке их чувствительность примерно вдвое ниже, а на синие лучи они реагируют очень слабо (см. рис. 6). Поэтому, если чувствительность к зеленым лучам обозначить буквой G, а чувствительность к красным и синим — соответственно R и B, то для палочки, на которую воздействуют лучи только этих трех цветов, общая воспринимаемая яркость будет не $G + R + B$, а

$$0{,}59G + 0{,}30R + 0{,}11B;$$

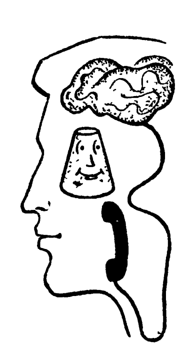
эти три коэффициента выбраны так, чтобы сохранить истинное соотношение и в сумме получить единицу.

Это должно показать тебе, что при малой освещенности только палочки участвуют в создании зрительного изображения (такое зрение называют «сумеречным») и потому цвета не воспринимаются глазом.

Н. — Теперь я понимаю, откуда произошла пословица «Ночью все кошки серы». Но днем...

Л. — ...ты можешь любоваться расцветкой тигровой, сиамской или персидской кошки, а также различать окраску их красивых глаз. Тогда в действие вступают и колбочки сетчатки. Какой в точности механизм их действия? Я не могу этого сказать. Но в конце прошлого века английский физик Томас Юнг сформулировал гипотезу, по которой существуют три категории колбочек: одни чувствительны к красным лучам, другие — к зеленым, а третьи — к синим. Это была правильная гипотеза: в 1964 г. биофизики из американского университета Джона Гопкинса экспериментально доказали, что Юнг был прав. Колбочки производят настоящий анализ спектрального состава света. Каждая категория колбочек передает в мозг информацию о яркости воспринимаемого излучения в своем участке цветного спектра.

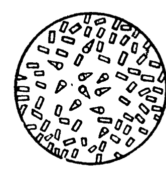
Индивидуальные и коллективные послания



Н. — Я представляю себе, как мозг получает, например, такое сообщение: «Говорит колбочка, расположенная на таком-то градусе северной широты и на таком-то градусе долготы сетчатки: я воспринимаю поток в столько-то люменов в диапазоне волн оранжевого цвета от 590 до 640 *нм*».

Л. — На самом же деле мозг не получает индивидуальных посланий от каждой колбочки или каждой палочки, так как общее количество линий связи. в данном случае волокон зрительного нерва, порядка одного миллиона. Это означает, что каждое волокно должно передавать «групповые послания» от одной группы элементов, несомненно, одной и той же категории.

Для полноты картины я добавлю, что в центре сетчатки имеется небольшая зона, именуемая «желтым пятном», где с максимальной плотностью размещаются одни колбочки. Это означает, что лучше всего глаз различает детали в той части цветного изображения, которая соответствует оси взгляда. Плотность размещения палочек, которых совершенно нет на желтом пятне, возрастает по мере приближения к краю сетчатки. Вот почему «периферийное зрение» дает наибольшую резкость для изображений, которые отличаются только своей яркостью.



Напротив, вне оси зрения в связи с уменьшением количества колбочек острота восприятия цветов существенно снижается.

Н. — Это все кажется мне достаточно ясным. Но картина еще больше бы осветилась, если бы ты мог посоветовать мне провести несколько конкретных экспериментов, какие обычно показывают в физическом кабинете.

Л. — Нет ничего легче. Если ты пожелаешь, Незнайкин, в следующий раз мы можем встретиться в Зале оптики Дворца открытий [1].

[1] Музей науки и техники в Париже, аналогичный Политехническому музею в Москве. *(Прим. перев.)*

ГЛАВА 3

Несколько экспериментов позволяют Любознайкину помочь своему другу лучше понять различные законы, определяющие жизнь мира и красок. В связи с этим наши друзья обсуждают следующие вопросы:

Синтез цветов с помощью диска Ньютона. Цвет предметов. Субстрактивный и аддитивный методы. Цветной тон, яркость и насыщенность. Основные цвета. Принцип трехцветного способа получения цветного изображения. Цилиндр Манселла. Это только иллюзия.

ВО ДВОРЦЕ ОТКРЫТИЙ

Разложение и восстановление

Незнайкин. — Как здесь темно! А я то думал, что этот зал, предназначенный для изучения света, должен быть залит солнцем!

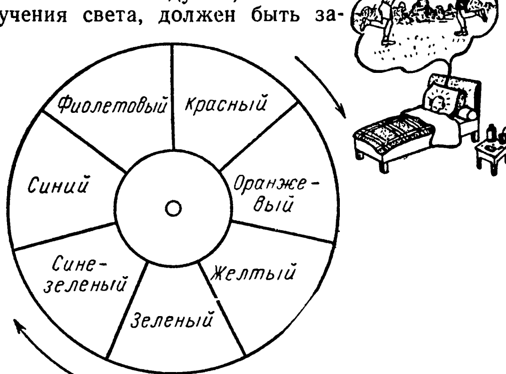
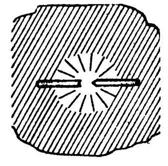


Рис. 7. Если достаточно быстро вращать диск Ньютона, то цвета в нашем восприятии накладываются один на другой и создают впечатление белого света.

Любознайкин. — Не удивляйся Точно так же, как заболевший лучше понимает, что такое хорошее здоровье, так и в темноте нагляднее проявляется поведение света. Впрочем, вот и доказательство этой моей идеи. Ты видищь здесь[1] основной опыт разложения света с помощью призмы — об этом опыте более подробно мы поговорим в следующий раз. Здесь солнце заменили вольтовой дугой, которая тоже дает белый свет. Но можно и как бы перевернуть условия опыта. Подойди сюда и посмотри через призму на эту полосу цветов спектра.



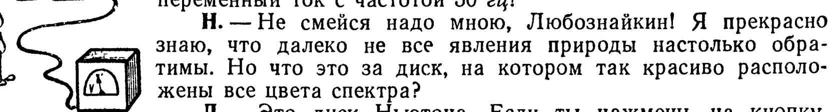
Н. — Как я и думал, я вижу белый свет. Собираясь воедино, различные цвета спектра вновь образуют белый свет.

В этом случае мы еще раз наблюдаем обратимость физических явлений. Вращайте динамомашину, и она даст элек-

[1] Авторы просят читателя великодушно извинить их за некоторую фантазию, так как настоящий Отдел оптики во Дворце открытий совершенно не похож на описанный здесь Зал оптики.

трический ток. Подайте в нее электрический ток, и она превратится в двигатель.

Л. — Включите паяльник в розетку, и он нагреется. Нагрейте жало паяльника, и вы получите на концах его провода переменный ток с частотой 50 *гц*!



Н. — Не смейся надо мною, Любознайкин! Я прекрасно знаю, что далеко не все явления природы настолько обратимы. Но что это за диск, на котором так красиво расположены все цвета спектра?

Л. — Это диск Ньютона. Если ты нажмешь на кнопку, он начнет вращаться.

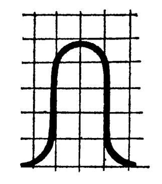
Н. — Так приступим! Что же получится?.. Смотри, он стал белым! Ну конечно, как я не догадался! И в этом случае цвета вновь воссоединяются.

Л. — Однако то, что мы сейчас видим, отличается от восстановления белого цвета в призме, где происходит наложение всех составляющих *в пространстве,* а на диске Ньютона происходит сложение *во времени.* В последнем эксперименте это явление имеет место благодаря сохранению зрительного ощущения, своеобразной «памяти зрения». Коль скоро мы сейчас находимся в главе, посвященной восприятию, проведем один очень забавный эксперимент. Что ты здесь видишь?

Цвет предметов

Н. — Квадраты из плотной бумаги разного цвета: белый, красный, зеленый и синий.

Л. — Они освещены белым светом. А теперь нажми на эту кнопку, помеченную буквой *R*. Ты видишь, что теперь квадраты освещены красным светом. Для этого перед источником света поставлен красный светофильтр. Он задерживает все световые волны, кроме узкой полоски, расположенной вокруг 700 *нм*.



Н. — Это то, что в радиотехнике мы называем полосовым фильтром. Итак, при этом освещении белый квадрат стал красным. Красный таким же и остался. Но, черт возьми, почему зеленый и синий квадраты стали черными?

Л. — Очень просто. Предмет имеет зеленую окраску, когда он поглощает все световые волны, кроме зеленых, которые он отражает. В нашем случае красный свет не содержит зеленых лучей. Поэтому наш квадрат не отражает никаких лучей. А отсутствие света на правильном французском языке называется «черным цветом».

Н. — Значит это же самое происходит и с синим квадратом, поглощающим все лучи, за исключением синих, которые он отражает. А в красном освещении, которое не содержит синих лучей, наш квадрат становится черным. Могу ли я из этого сделать вывод, что цвет предметов зависит как от их способности поглощения и отражения, так и от состава падающего на них света?

Л. — Это логический вывод из демонстрируемого здесь опыта.



Вычитание цветов

Н. — Теперь я нажимаю на кнопку *B*. Какой красивый этот синий свет. Как я и ожидал, красный и зеленый квадраты стали черными, а синий вновь стал синим, а белый...

тоже стал синим. Значит, если я правильно понимаю, *белый предмет тот, который не поглощает никакого света и отражает все световые волны.*

Л. — Разумеется. И точно так же предмег черен, если он поглощает все световые волны и не отражает никакого света.

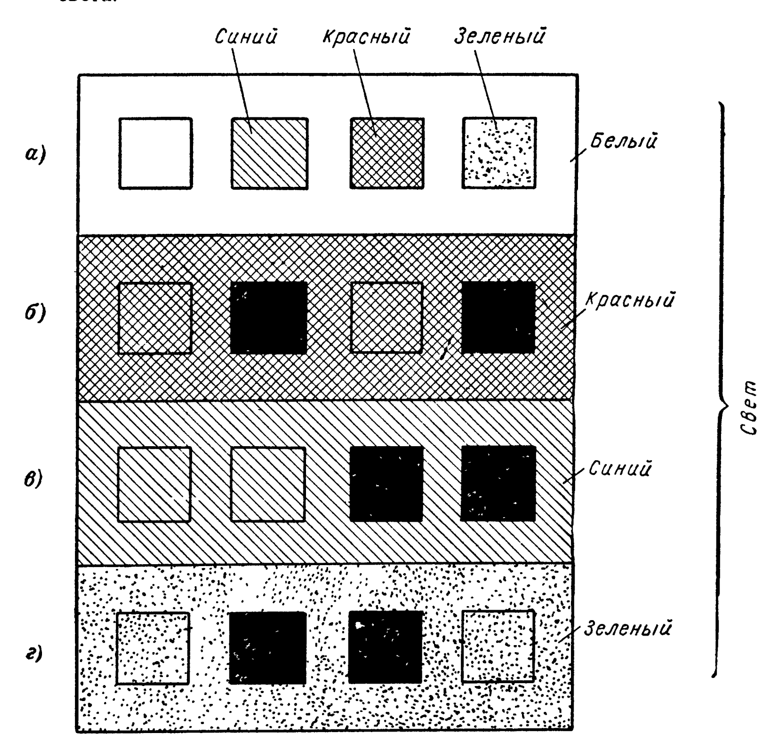
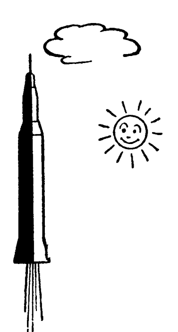


Рис. 8. При освещении белым светом (*а*) глаз видит белый, синий, красный и зеленый квадраты. При освещении красным светом (*б*), синим светом (*в*) и зеленым (*г*) только квадраты, имеющие такую же окраску, сохраняют свой цвет (см. этот рисунок на цветной вклейке).

Н. — Теперь я понимаю, почему космические корабли окрашены с одной стороны в черный, а с другой стороны в белый цвет. Когда космонавты желают согреться, они так ориентируют свою ракету, чтобы к солнцу была обращена черная сторона, которая поглощает солнечные лучи. Когда им становится слишком жарко, они поворачивают к солнцу белую сторону, которая отражает лучи.



Л. — Я вижу, что ты хорошо усвоил всю информацию из научно-фантастических книжек...

Н. — Раздумывая о том, что я только что видел, я прихожу к выводу, что воспринимаемый нами цвет определяется своего рода «вычитанием». Светофильтры ведут себя точно так, как и окрашенные предметы: они отнимают соответствующую часть спектрального состава света. Фильтры достигают этого, задерживая световые волны некоторой длины, а окрашенные поверхности поглощают их.

Л. — Да, в обоих случаях цвет получается *субстрактивным методом* (методом вычитания). Примером может служить демонстрация цветных диапозитивов, где каждый элемент изображения представляет собой маленький фильтр. В природе мы наблюдаем только этот субстрактивный метод.

Однако цвета можно получить также и *аддитивным методом* (методом сложения). Но тогда мы имеем дело с психофизиологическим явлением; воспринимаемые одновременно

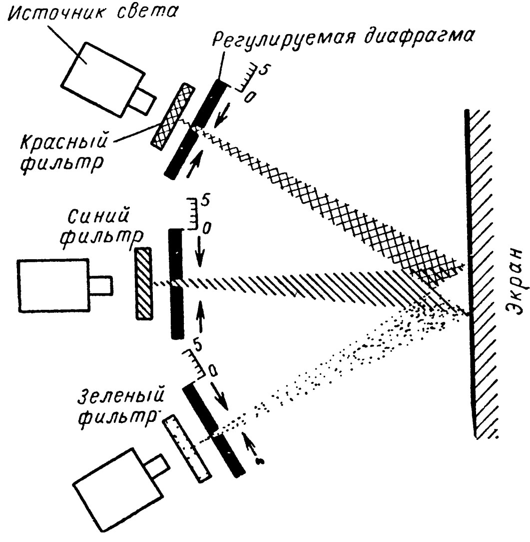
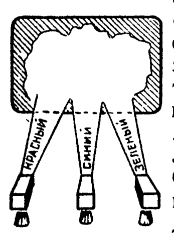


Рис. 9. Три источника белого света оснащены красным, синим и зеленым фильтрами и регулируемыми диафрагмами, позволяющими дозировать силу проецируемых на белый экран лучей. Полученная таким образом аддитивная смесь позволяет воспроизвести большинство цветов.



световые волны различной длины вызывают ощущение, что они смешиваются в нашем мозгу. Подойди сюда и позабавься, составляя собственноручно различные цвета, накладывая для этого друг на друга сходящиеся на одном белом экране световые лучи этих трех фонарей. Один из фонарей снабжен красным фильтром, второй — синим, а третий — зеленым. И каждый из них оснащен регулируемой диафрагмой, позволяющей дозировать интенсивность падающего на экран света. С помощью этого оборудования ты можешь получить бесконечно большое количество смесей этих трех цветов. Так за дело! Я предоставляю тебе полную свободу, чтобы ты мог, как тебе заблагорассудится, поэкспериментировать с этим оборудованием.

Открытие яркости

Н. — Посмотрим сначала, что даст один фонарь. Я полностью закрываю диафрагмы на красном и синем фонарях и постепенно открываю диафрагму зеленого фонаря. Я вижу, как один и тот же чистый зеленый цвет становится все более ярким.

Л. — Ты экспериментируешь с практически чистым цветом, т. е. с излучением почти идентичной длины волн. Воздействуя на диафрагму, ты увеличиваешь лишь количество падающей на экран световой энергии. Графически спектр этого света можно представить в виде одной вертикальной линии, амплитуда которой изменяется в зависимости от действующего отверстия диафрагмы. Однако в нашем восприятии свет сохраняет один и тот же *цветовой тон* (или, как иногда говорят, «тональность» или «оттенок»), но *яркость* его изменяется. Запомни хорошенько, Незнайкин, значение двух этих терминов. А теперь начинай смешивать цвета.

Получение белого цвета из трех



Н. — Сначала я установлю диафрагмы всех трех фонарей на одинаковую величину, например на половину максимальной. Но что я вижу? Экран стал белым! Фильтры исчезли?

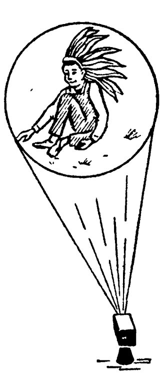
Л. — Совсем нет, дорогой друг. Но интенсивность источников света сейчас отрегулирована так, что при одинаковом отверстии диафрагмы аддитивная смесь дает точное впечатление белого света. В этом нет ничего удивительного, ибо ты знаешь, что то, что мы воспринимаем как белый свет, на самом деле представляет собой смесь различных цветов. И совершенно нет необходимости смешивать все краски спектра видимого излучения: как мы видим, для получения белого света достаточно трех цветов. И сама природа как бы подсказывает нам *трехцветный способ* — как мы видели, сетчатка глаза содержит светочувствительные элементы, приспособленные для восприятия одного из трех *основных цветов:* красного, зеленого и синего.

Н. — Что касается белого, согласен. Но как обстоит дело с другими цветами? Что их тоже получают простым смешением трех основных цветов?

Л. — Попробуй и увидишь.

Открытие насыщенности

Н. — Хорошо. Посмотрим, что даст усиление красного света. Я открываю немного побольше диафрагму красного фонаря, и вот освещенная поверхность из белой становится бледно-розовой. Я еще больше открываю диафрагму красного фонаря: мой розовый цвет становится более интенсивным и постепенно переходит в красный, который, однако, даже при полностью открытой диафрагме красного фонаря остается довольно бледным.



Л. — Это естественно, так как рассматриваемый красный цвет представляет своеобразную смесь с белым, полученным в результате сложения синего, зеленого и части красного лучей.

Н. — А! Мне пришла одна идея! Чтобы увеличить интенсивность красного, нужно одновременно снизить интенсивность синего и зеленого. Посмотри, Любознайкин, посмотри, красный становится интенсивнее! А теперь, когда зеленый и синий фонари полностью закрыты, красный цвет стал очень красивым.

Л. — Да, теперь твой цвет стал «насыщенным». Термином *насыщенность* обозначают восприятие степени чистоты цвета. В твоем эксперименте цветовой тон не изменяется: это всегда красный. Он лишь в большей или меньшей дозе входит

составной частью в белый. Такое же повышение насыщенности можно наблюдать, если в стакан с водой вливать по капле красные чернила. Сначала вода будет розоветь, затем станет бледно-красной, а когда количество влитых чернил значительно превысит первоначальный объем воды, ты получишь действительно красную жидкость.

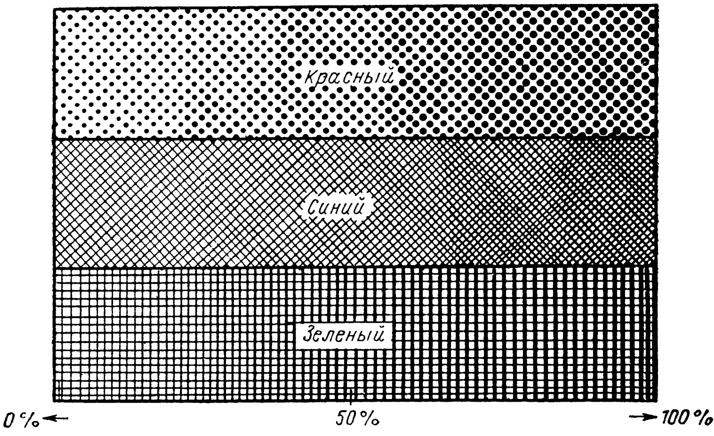
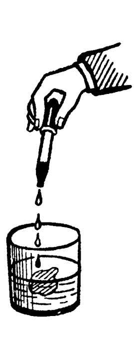


Рис. 10. Изменяя соотношение между белой и окрашенной поверхностью, получают шкалу насыщенности от 0 до 100% (см. этот рисунок на цветной вклейке).



Н. — Такой же эксперимент, несомненно, можно производить с чернилами фиолетового, синего, зеленого и вообще любого цвета. Значит, если я правильно понимаю, насыщенность не зависит от цветового тона.

Л. — Для каждого цветового тона можно получить полную гамму насыщенности от 0 до 100%.

Три основные характеристики

Н. — Но я предполагаю, что насыщенность зависит от яркости. Чем сильнее свет, тем бледнее становится цвет.

Л. — Дорогой друг, ты ошибаешься. Возьми свой стакан с водой, в которую влиты чернила. Смотришь ли ты через этот стакан на 40-ваттную или 150-ваттную электрическую лампу, насыщенность идентична. Точно так же ты можешь взять полоску бумаги и с одного конца очень редко поставить маленькие цветные точки и постепенно увеличивать их густоту, чтобы на другом конце бумажной полоски точки почти сливались, образуя сплошь закрашенную поверхность. При рассматривании с некоторого расстояния такая полоска представляет прекрасную шкалу насыщенности. Разглядывай ее при свете свечи или на солнце, величина насыщенности не изменяется, хотя яркость изменяется в чудовищных пределах.

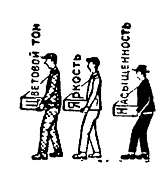
Н. — Понял. Теперь я хотел бы подвести итог всему сказанному тобой о восприятии цветов, чтобы посмотреть, все ли

правильно уложилось в моем мозгу. Три фактора характеризуют для нас цвет: цветовой тон, яркость и насыщенность.

Цветовой тон зависит от преобладающей длины волны в воздействующем на наш глаз спектре световых лучей.

Яркость определяется мощностью этих лучей.

А *насыщенность* зависит от спектрального состава совокупности воспринимаемых лучей. Можно сказать и иначе — насыщенность характеризует степень разбавленности цветового тона белым цветом.



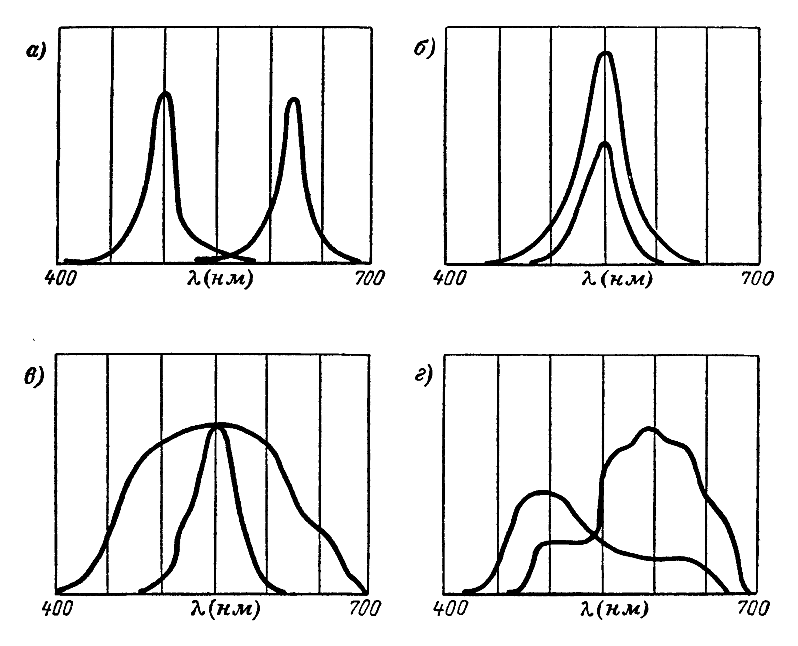


Рис. 11. Кривые, характеризующие немонохроматические цвета.
а — цвета различаются по тону; *б* — цвета различаются по яркости; *в* — цвета различаются по насыщенности; *г* — цвета различаются одновременно по тону, яркости и насыщенности.

Л. — Я в восторге от того, с какой ясностью ты сформулировал эти определения. Можешь ли ты теперь сказать мне, чему соответствуют эти факторы, если изобразить графически спектр лучей?

Н. — Цветовой тон определяется местом вершины кривой. Яркость соответствует высоте этой кривой. А что касается насыщенности, то можно ли сказать, что она характеризуется большей или меньшей «избирательностью» этой кривой?

Л. — Твоему способу выражать свои мысли не хватает изящества, но он прекрасно доказывает, что ты все правильно понял. Действительно, у насыщенных цветов кривая узкая и острая, как у избирательных контуров. Малая насыщенность характеризуется растянутой и уплощенной кривой, похожей на кривую контура с большим затуханием.

Спектакль «Звук и Свет»[1]

Н. — Любознайкин! Мне пришла в голову потрясающая идея...

Л. — Обычно я скептически отношусь к подобным вещам. Но сегодня ты проявляешь необыкновенную живость ума, и поэтому без стеснения поделись со мной своей гениальной идеей.

Н. — Не смейся, Любознайкин! Это очень серьезно Я думаю об аналогии между восприятием звука и света. Так как для звука мы тоже пользуемся тремя характеристиками: *высота* (которая зависит от основной частоты), *интенсивность*, или «громкость», звука (которая зависит от мощности или амплитуды колебаний) и *тембр*, определяемый количеством и относительной мощностью гармоник. И я предлагаю тебе подвести итог.

ЗВУК И СВЕТ

СПЕКТАКЛЬ В ПОСТАНОВКЕ ЛЮБОЗНАЙКИНА И НЕЗНАЙКИНА

Звук		Свет	
Восприятие	Физическое явление	Восприятие	Физическое явление
Высота	Основная частота	Цветовой тон	Доминирующая частота
Громкость	Мощность	Яркость	Мощность
Тембр	Гармоники	Насыщенность	Спектральный состав

Разнообразные смеси

Л. — Прими поздравления, Незнайкин! Твой спектакль «Звук и Свет» мне очень понравился. Я надеюсь, что в один прекрасный день твоя таблица будет повешена здесь в коридоре, соединяющем залы акустики и оптики. А пока продолжим наши эксперименты со сложением цветов. Закрой полностью диафрагму синего фонаря и смешай красный и зеленый лучи.

Н. — У меня получился желтый цвет! Как это происходит?

Л. — В этом нет ничего удивительного. Когда мы воспринимаем желтый свет, лучи воздействуют в основном на колбочки нашей сетчатки, чувствительные к красному и зеленому цветам, так как нет специальных колбочек для восприятия желтого цвета. Сейчас ты производишь такой же эффект, выдавая этим же колбочкам соответствующие порции красных и зеленых лучей.

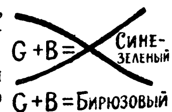
Н. — Понял. Теперь с помощью диафрагмы я изменяю соотношение зеленого и красного и получаю все промежуточные цвета спектра, включая оранжевый.

Л. — А теперь убери красный и смешай зеленый и синий лучи. И в этом случае путем изменения дозировки ты получишь все промежуточные цвета, включая цветовой тон, кото-

---

[1] Так, во Франции называют исполнение музыкальных произведений в вечернее время у исторических зданий, например в Версале, которое сопровождается изменяющимся освещением. *(Прим. перев.)*

рый называют английским термином *«циан»* (сине-зеленый), которому, как я уже говорил, я предпочитаю термин «бирюзовый».



Н. — А теперь я убираю зеленый и смешиваю красный и синий лучи. На этот раз получаем разные оттенки пурпурного цвета. Этих цветовых тонов в спектре нет. Они, как ты уже дал мне понять, не соответствуют определенной длине волны. Воспринимаемый цвет является результатом возбуждения колбочек, чувствительных к красному и синему цветам.

Бесконечность в кубе

Л. — Если ты будешь продолжать в таком темпе, то тебя оставят здесь во Дворце открытий в качестве лектора-демонстратора. С помощью трех фочарей с фильтрами трех основных цветов и регулируемой диафрагмы ты можешь воспроизводить бесконечное разнообразие цветов.

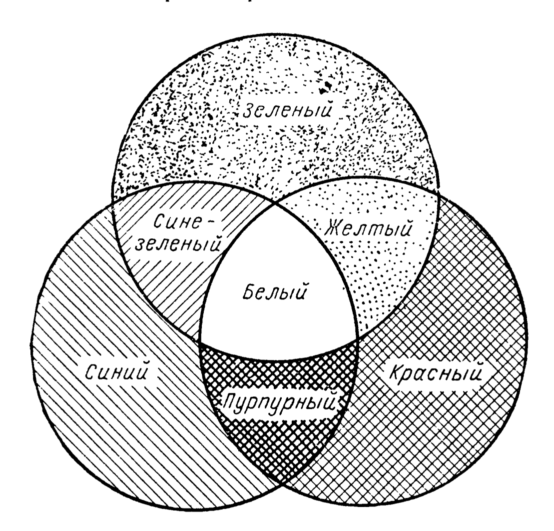
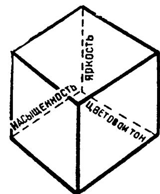


Рис. 12. Аддитивная смесь первичных цветов.
Этот рисунок (который имеется во всех книгах о цвете) показывает, какое впечатление производит одновременное восприятие двух или трех первичных цветов. Следовательно, здесь наблюдается психофизиологическое явление, вызываемое лучами света с различной длиной волны (см. этот рисунок на цветной вклейке).

Н. — Я бы даже сказал «бесконечность в кубе», так как для каждого из бесконечного количества цветовых тонов может быть бесконечное количество значений насыщенности. А для каждой такой бесконечности в квадрате имеется бесконечное число градаций яркости. Для изображения этой «бесконечности в кубе» необходимо воспользоваться пространственным изображением с тремя осями координат.

Л. — Ты вполне прав. Но пока до этого мы еще не дошли. Сейчас для нас самое важное сделать вывод из проделанного эксперимента о том, что с помощью соответствующей

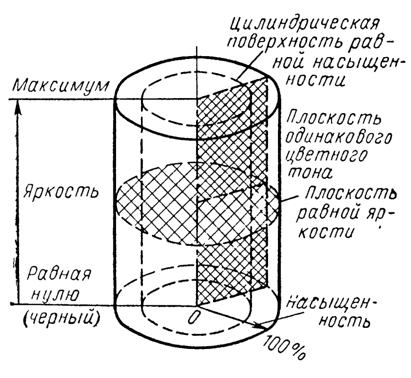
дозировки трех *основных* цветов, какими являются красный, синий и зеленый, можно воспроизвести любую, как ты называешь, цветовую «бесконечность в кубе». Это принцип «трехцветки», который используется в различных областях техники для воспроизведения цветных изображений.

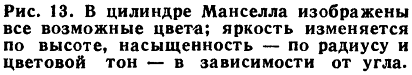


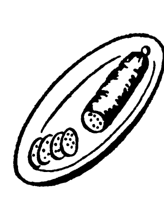
Н. — Но скажи мне, Любознайкин, что это за странный прозрачный цилиндр, в котором видны все цвета?

Л. — Это как раз и есть один из разнообразных способов пространственного изображения того, что ты называешь «бесконечностью в кубе» цветов. По фамилии физика, который изобрел этот остроумный способ разделения цветов, прибор называется цилиндром Манселла.

Разрежем цилиндр по горизонтали (эта модель на самом деле разрезана на пластинки, как колбаса на кружочки). Что ты видишь на этом круге? По периметру ты видишь всю гамму цветов: от красного через оранжевый, зеленый, синий, фиолетовый, а замыкают эту гамму различные оттенки пурпурного. Эти цвета имеют 100%-ную насыщенность. А теперь посмотри по радиусу. По мере удаления от периметра насыщенность убывает и в центре становится равной нулю; это означает, что в центре окраска серая. На этом этаже — ломтике цилиндра все цветовые тона имеют одинаковую яркость. Чем выше поднимаемся мы по цилиндру, тем большей становится яркость, а в основании цилиндра она равна нулю, т. е. основание просто-напросто черное.




Рис. 13. В цилиндре Манселла изображены все возможные цвета; яркость изменяется по высоте, насыщенность — по радиусу и цветовой тон — в зависимости от угла.



Н. — Изумительно! Здесь мы имеем все комбинации цветовых тонов, насыщенности и яркости. Мой куб парадоксально воплощен в цилиндре!.. Я констатирую, что, если разрезать цилиндр по плоскости, проходящей через его ось и ограниченной этой осью, мы получим на этой плоскости для одного цветового тона все возможные насыщенности и яркости.

Л. — Это совершенно верно. А что мы увидим на цилиндрической поверхности, образованной на той же оси, но меньшим радиусом?

Н. — Мы увидим все возможные цветовые тона различной яркости, но идентичной насыщенности.

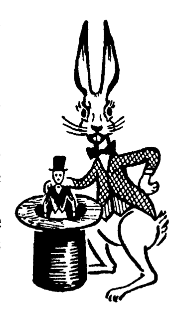
Л. — Браво! В дополнение к этому я хочу обратить твое внимание на то, что ось цилиндра Манселла представляет собой всю шкалу серых тонов, идущую от черного внизу до белого наверху.

Н. — Какое богатство в таком небольшом объеме! И ты говоришь, что благодаря трехцветному принципу соответствующей дозировкой трех основных цветов можно получить все это разнообразие красок.

Это только иллюзия

Л. — На этом принципе основана цветная фотография и, как ты позднее узнаешь, цветное телевидение. В цветном телевидении в качестве трех первичных составляющих используются красный, зеленый и синий цвета с точно фиксированной длиной волны...

Прежде чем уйти из этого зала, тебе, Незнайкин, было бы полезно провести несколько минут в отделе «Оптических иллюзий». Посмотри, например, на этот яркий красный свет, а теперь скажи, какого цвета этот квадрат?



Н. — Он сине-зеленоватый.

Л. — Нет, он белый. Но твои очувствленные к красному цвету колбочки устали от воздействовавшего на них яркого света. Поэтому их чувствительность на некоторое время снизилась, и твой глаз больше реагирует на синее и зеленое излучение белого квадрата... По этой же причине эти два квадрата строго одинакового желтого цвета кажутся тебе очень разными, а дело просто-напросто в том, что один из них на черном фоне, а другой на белом фоне, где он кажется почти каштановым.

Н. — Теперь-то я понимаю глубокий смысл выражения: «Не верь глазам своим»...



ГЛАВА 4

Как ориентироваться в бесконечном разнообразии цветов, которые могут различаться цветовым тоном, насыщенностью и яркостью? Колориметрия дает различные способы классификации и «снабжения адресами» цветов. Колориметрии посвящена настоящая глава, в которой рассматриваются следующие вопросы:

Спектрограмма. Двухцветный и трехцветный способы воспроизведения цветных изображений. Роль отрицательных составляющих. Пространственное изображение. Треугольник Максвелла. Определение цветности. График цветности. Дополнительные цвета. Нулевая цветность. Изображение насыщенности и цветового тона.

НЕМНОГО О КОЛОРИМЕТРИИ

Само по себе название колориметрия не точно отражает суть дела; задача колориметрии заключается не в измерении цвета, так как, если строго придерживаться смысла слов, цвет — неизмеряемая величина: можно подобрать два идентичных цвета, но нельзя сказать, что один цвет в два или три раза больше другого! Поэтому скорее следовало бы сказать «находить адрес» нежели измерять цвет.

Наш язык отличается превеликой неточностью. Так, лишь некоторые цвета имеют собственные имена, которые хорошо знают художники (ультра-

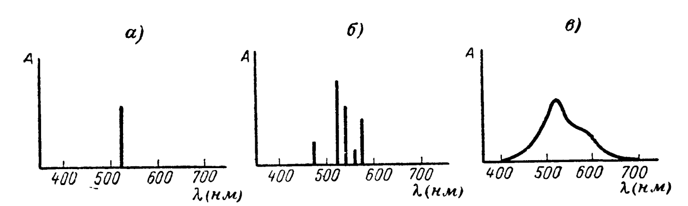


Рис. 14. Примеры световых спектров.

а — зеленый монохроматический свет; *б* — немонохроматический зеленый свет (с отдельными спектральными линиями); *в* — немонохроматический зеленый свет (непрерывный спектр излучения).

марин, желтый хром, киноварь, голландская сажа, берлинская лазурь и т. д.), но при желании снабдить названиями все имеющееся в природе бесконечное многообразие нюансов, пришлось бы такие названия создать в астрономических количествах. Из-за отсутствия поэтического воображения физики предпочли воспользоваться цифрами.

Анализ и синтез цветов

Для обозначения чистых или монохроматических цветов достаточно двух чисел: частота (или длина волны) и световая энергия (или световой поток, или освещенность). Иначе говоря, монохроматический цвет абсолютно точно определен, когда известны его амплитуда и место, занимаемое соответствующей ему линией в спектре.

Но природные цвета никогда не бывают монохроматическими. Обычно они представляют собой смесь излучений с различными длинами волн; в том случае для характеристики цвета необходимо дать:

частоту каждой спектральной линии;
амплитуду каждой спектральной линии.

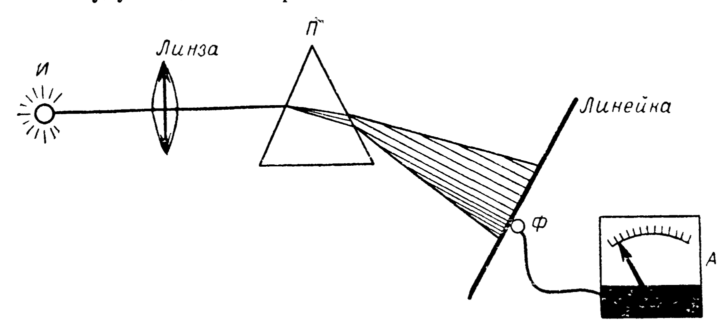


Рис. 15. Анализ света с помощью спектроскопа с призмой.

Свет от источника *И* фокусируется на экране, в плоскости которого установлена линейка с делениями, обозначающими длины волн. Между фокусирующей свет линзой и экраном помещена разлагающая свет призма *П*. Вдоль линейки перемещается фотоэлемент *Ф*, соединенный с измерительным прибором *А*; такое устройство позволяет снять спектрограмму для каждой точки спектра анализируемого света.

Часто в природе встречаются и цвета со сплошным спектром, т. е. со спектром, в котором нет отдельных спектральных линий и все части представлены с большей или меньшей энергией.

Для характеристики такого излучения с непрерывным спектром приходится прибегать к помощи графика, на абсциссе которого откладывается частота, а на ординате — амплитуда; такой график напоминает кривую полосы пропускания усилителя

Графическое изображение спектрального распределения света называется *спектрограммой;* для получения такой характеристики пользуются спектрографом со стеклянной призмой, через которую пропускают исследуемый световой луч, а затем в различных участках шкалы частот замеряют, например, с помощью фотоэлемента интенсивность падающего света. Чтобы воспроизвести анализируемый свет, нужно соответствующим образом дозировать мощность источников таких же, как и при анализе монохроматических цветов, и смешать эти исходные световые потоки Если же придется иметь дело с действительно непрерывным спектром, то для воспроизведения такого цвета потребуется *бесчисленное множество* элементарных источников света!.

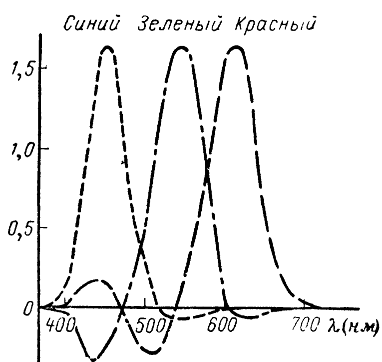


Рис. 16. Дозирование основных цветов, используемых в цветном телевидении для воспроизведения различных цветовых тонов. Единицы измерения на осях координат произвольные (уменьшенный масштаб). Смесь одинаковых количеств трех основных цветов дает белый «дневной свет».

Следовательно, мы должны прийти к выводу, что если *анализ* даже самого сложного света всегда возможен с помощью спектрографа, то *синтез* света исключительно сложен, а то и вообще неосуществим.

Не существует физического метода, способного точно воспроизвести *все* существующие в природе цвета. Приходится довольствоваться приближенными решениями. Следовательно, любой метод воспроизведения цветов всегда имеет определенные пределы; есть цвета, которыми приходится жертвовать, но во всех случаях необходимо иметь возможность воспроизводить всю шкалу серых тонов от черного до белого.

Если анализировать подлежащий воспроизведению окрашенный световой поток только в нескольких точках спектра, которые называют основными, или *первичными,* цветами, то сами собой напрашиваются следующие выводы:

1. Смесь взятых в одинаковой пропорции всех первичных цветов должна приводить к бесцветности, т. е. давать нейтральный серый, белый или черный тон.

2. Чем больше количество первичных цветов, тем большее количество цветовых оттенков воспроизводится в цветном изображении.

Двухцветный и трехцветный способы воспроизведения цветных изображений

Количество первичных цветов, естественно, не может быть меньше двух (в противном случае нельзя будет получить серого тона). Если при анализе и воспроизведении ограничиться двумя основными цветами, то этот способ называется *двухцветным.*

Интересные работы в этой области были проведены американцем Лэндом — создателем одноступенчатого способа получения фотографических

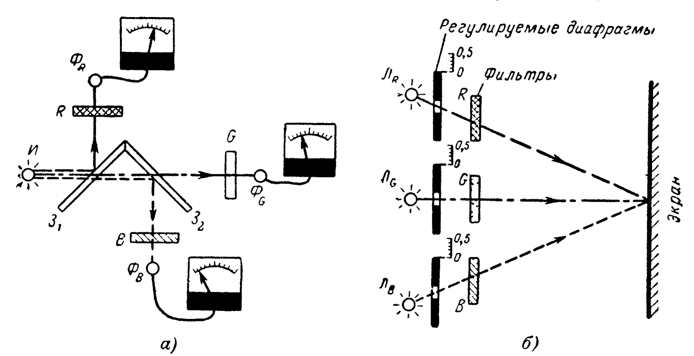


Рис. 17. Анализ и синтез света трехцветным способом.

а — анализируемый свет от источника *И* системой полупрозрачных зеркал $З_1$ и $З_2$ проецируется на фотоэлементы $Ф_R$, $Ф_G$ и $Ф_B$, по пути к которым свет проходит соответственно через фильтры *R*, *G* и *B*. Токи фотоэлементов замеряются амперметрами; *б* — полученные в результате измерений величины учитываются при регулировке с помощью диафрагм световых потоков от трех ламп $Л_R$, $Л_G$ и $Л_B$, а затем эти потоки через фильтры *R*, *G* и *B* направляются на экран.

изображений, получившего название «Поляроид». В результате проведенных исследований было установлено, что двухцветный способ может дать «приятные» цвета (именно это слово употребил сам Лэнд). Однако верность воспроизведения цветов не может быть достаточной: если, например, в качестве одного из первичных цветов выбрать желто-зеленый (к которому человеческий глаз особенно чувствителен), то в качестве второго основного цвета необходимо взять *дополнительный*[1] к первому цвет, чтобы иметь возможность получить нейтральный серый тон; таким дополнительным цветом к

[1] Дополнительными цветами называют два цвета, смешение которых дает нейтральный серый.

Видимые волны

780 нм

380 нм

Рис. 3.

Радиоволны

Инфракрасные лучи

Ультрафиолетовые лучи

Рентгеновские лучи

Гамма-лучи

λ	300 м	3 м	3 см	300 мк	3 мк	30 нм	0,3 нм		
f	1	10^2	10^4	10^6	10^8	10^{10}	10^{12}	10^{14}	10^{16} Мгц

Источник света

Белый

Рис. 4.

Стекловидное тело

Радужная оболочка

Сетчатка

Хрусталик

Зрительный нерв

Роговица

Рис. 5.

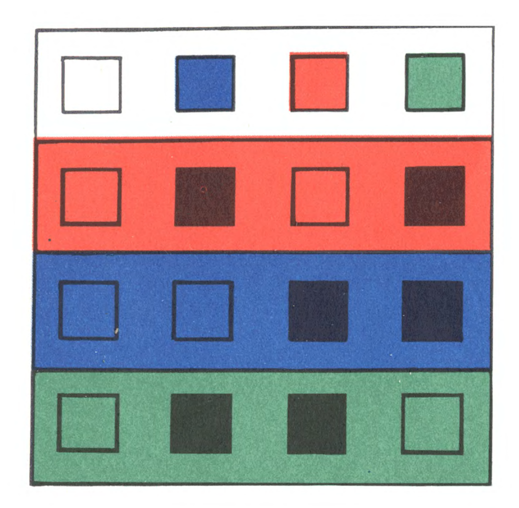


Рис. 8.



Рис. 10.

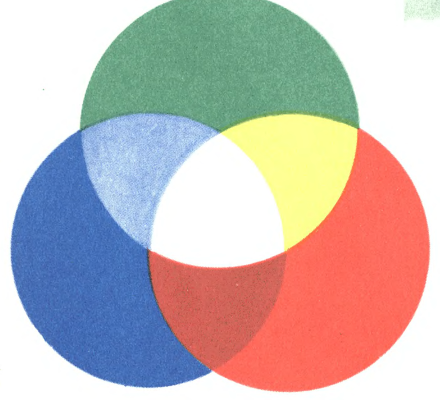


Рис. 12.

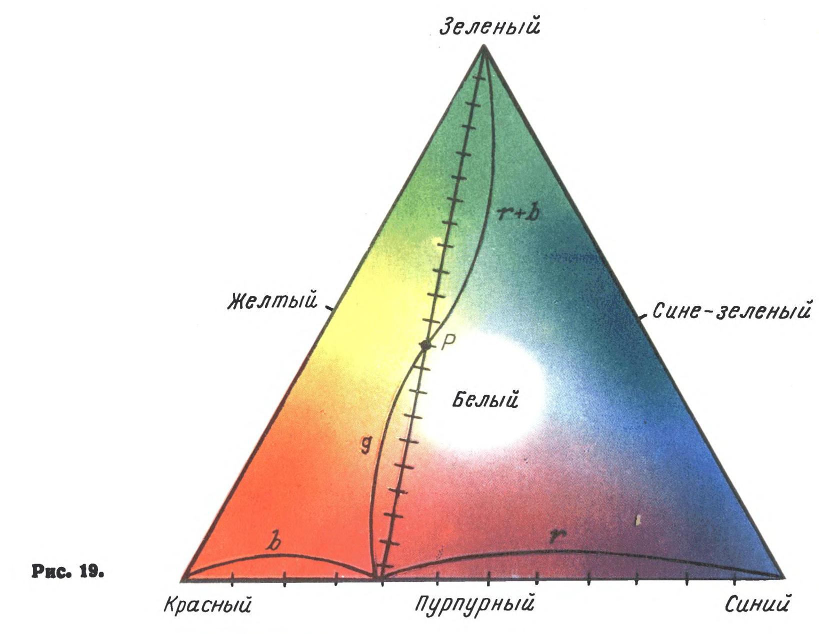

Зеленый
r+b
Желтый
Сине-зеленый
P
Белый
g
b
r
Красный
Пурпурный
Синий

Рис. 19.

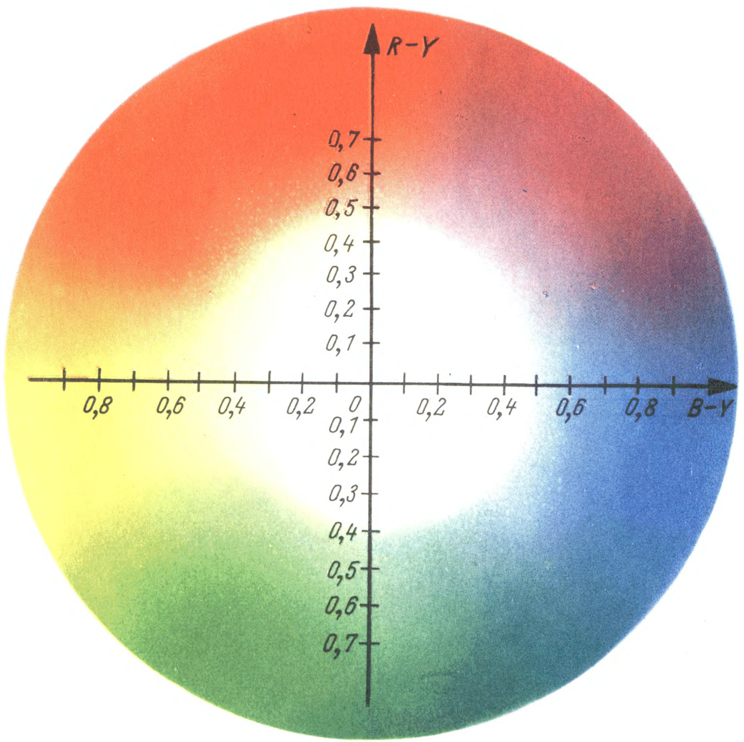

R-Y
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0,2
0,4
0,6
0,8
B-Y
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7

Рис. 20.

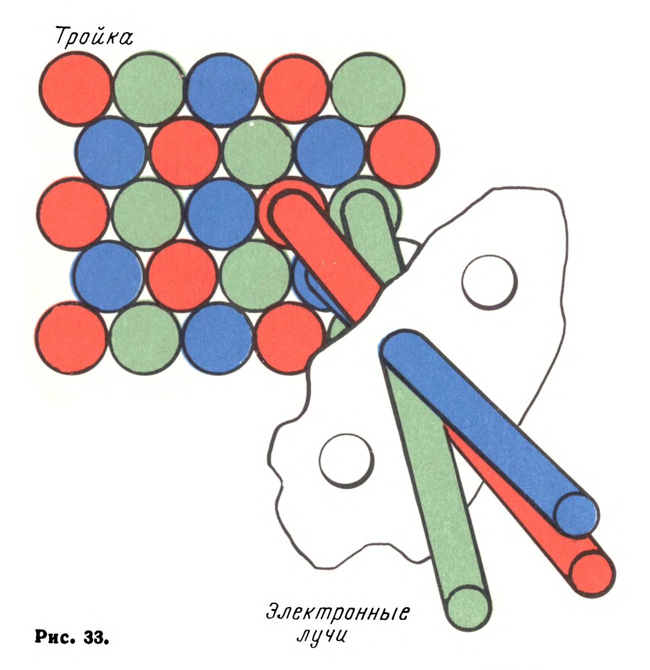


Рис. 33.

Красный
$\varphi = 104°$
R−Y
I
Пурпурный
$\varphi = 61°$
Q
P
123°
I_1
Q_1
33°
Желтый
$\varphi = 168°$
B−Y
Пачка импульсов синхронизации
$\varphi = 180°$
Синий
$\varphi = 348°$
Зеленый
$\varphi = 241°$
Сине-зеленый
$\varphi = 284°$

Рис. 48.

желто-зеленому является сине-фиолетовый. В этом случае невозможно получить достаточно чистый красный цвет. Разумеется, можно поискать другие пары первичных цветов, но во всех случаях придется идти на значительные жертвы.

Наиболее оправдавшееся на практике приближение — *трехцветный способ* воспроизведения цветных изображений. В этом случае используют первичные цвета, более или менее равномерно распределенные по спектру: красный — на низких частотах, зеленый — на средних частотах и синий — на высоких частотах. Необходимо отметить, что все эти первичные цвета немонохроматические: выделение цвета производится с помощью оптических фильтров, а сделать фильтры, пропускающие только одну длину волны, практически невозможно. При выборе первичных цветов для цветного телевидения главным соображением была легкость промышленного изготовления люминофоров соответствующих цветов для приемных трубок (см. гл. 6).

Следует также отметить, что не все цвета можно верно воспроизвести простым сложением трех первичных цветов. Для получения некоторых цветовых тонов приходится прибегать к вычитанию, что, как показано на рис. 16, приводит к *отрицательным* величинам первичных цветов. На этом рисунке показано, в каком соотношении должен использоваться каждый из первичных цветов, чтобы полученная смесь производила впечатление того или иного цветового тона. Так, например, для получения такого же впечатления, какое производит излучение с длиной волны 500 *нм,* нужно сложить небольшое количество синего с несколько бо́льшим количеством зеленого и из полученной смеси вычесть красный. Как это понять?

Это означает, что для воспроизведения впечатления, производимого излучением длиной волны 500 *нм,* нужно прежде всего изменить его путем добавления некоторого количества первичного красного цвета. Тогда соответствующим образом дозированная смесь зеленого и синего создаст такое же ощущение, что и смесь излучения с длиной волны 500 *нм* с примесью красного цвета. Именно это количество красного со знаком минус должно вводиться в смесь трех первичных цветов.

На практике анализируемый световой луч оптическими методами разделяется на три части и направляется на три фильтра, из которых один пропускает только красный, второй — только зеленый и третий — только синий цвета. Интенсивность света замеряется, например, фотоэлементом. Для воспроизведения такого же окрашенного светового луча́ нужно соответствующим образом дозировать интенсивность трех белых фонарей, прикрытых идентичными описанным выше цветными фильтрами, и наложить полученные цветные пятна друг на друга на белом экране.

Рис. 18. Трехмерное изображение цвета.

Место точки P на этом изображении определяется ее координатами r, g и b; умножение вектора $\overrightarrow{OP}$ на скалярный коэффициент k не изменяет собственных качеств цвета, а только его интенсивность.

Немного математики

Следовательно, можно сказать, что при трехцветном способе воспроизведения цветного изображения каждый цвет определяется тем, сколько в нем содержится красного, зеленого и синего, т. е. группой из трех чисел. Математики назвали бы эти три числа *координатами* и сказали бы, что цвета образуют трехмерное пространство.

Мы же радиотехники, а не математики, но мы весьма признательны последним за то, что они снабдили нас некоторым количеством рабочих

инструментов, объединенных названием «методы расчета». На этот раз мы будем говорить как математики. И раз пространство цветов трехмерно, мы изобразим его в виде прямоугольного шестигранника (куба) и обозначим его оси *OR*, *OG* и *OB*.

Следовательно, некая точка *P* на нашей пространственной фигуре характеризуется тремя координатами *R*, *G* и *B*. Предположим, что мы умножаем все три координаты на заданный коэффициент *k*. Тогда вектор $\overrightarrow{OP}$ станет равным $k \cdot \overrightarrow{OP}$, т. е. его модуль (так называют длину вектора) умножается на величину *k*, но его направление остается неизменным. На практике это означает, что интенсивность света увеличена в *k* раз, без какого бы то ни было изменения его качественных характеристик.

Рис. 19. Треугольник Максвелла.

Кроме вершин *R*, *G* и *B* обозначены следующие точки: *M* (пурпурный цвет — середина линии *BR*), *C* (сине-зеленый цвет) — середина линии *GB*, *J* (желтый цвет) — середина линии *RG*; центр тяжести треугольника — точка *W* соответствует белому цвету. Предстоит найти точку *P*, соответствующую цвету, представляющему собой смесь трех основных цветов в следующем соотношении:

$$R = 8,\ G = 9{,}5,\ B = 4.$$

Сначала находим барицентр *M'* для точек *B* и *R*, для чего делим линию *RB* на 12 равных частей:

$$RM' = 4,\ BM' = 8,$$

затем для нахождения барицентра всей системы соединяем вершину *G* с точкой *M'* и делим линию *GM'* на 21,5 равных частей:

$$PM' = 9{,}5,\ GP = 12.$$

Искомый цвет — желтый, находящийся на одинаковом расстоянии от насыщенного желтого и белого цветов (см. этот рисунок на цветной вклейке).

Из этого становится понятно, что при желании разъединить эти два аспекта — интенсивность света и внутренне присущие ему качества, которые воспринимаются как яркость и цветовой тон с насыщенностью — можно найти более простые средства для их изображения.

Возьмите трехмерное изображение трехцветного способа воспроизведения цветов и исключите одно из измерений (например, яркость света), что же останется в итоге? Ровно столько, сколько требуется для изображения характеристик на одной плоскости, а рисунки на плоскости легче понимать и делать, чем рисунки в пространстве.

Но мы исходим из пространства, характеризуемого тремя координатами *R*, *G* и *B*, а теперь мы говорим об изъятии одной из этих координат (яркости света), которая по своей природе включается в состав этих трех. Но, может быть, увлекаемые нашим математическим задором, мы берем матрицы изменения координат, т. е. операторы или «математические существа», с которыми наш читатель, может быть, недостаточно знаком? Сразу же отметим, что имеется множество способов изобразить характеристики цвета на плоскости, не прибегая к научным выкладкам.

Треугольник Максвелла

Впервые в истории цветовой график на плоскости составил английский физик Максвелл, который известен составлением дифференциальных уравнений, характеризующих распространение электромагнитных волн. *Треугольник Максвелла* представляет собой равносторонний треугольник, вершины которого соответственно характеризуют чистые цвета: красный, синий и зеленый, но при таком изображении совершенно не учитывается яркость света. Теоретически внутри этого треугольника должны размещаться все цветовые тона и все степени насыщенности, которые можно получить трехцветным способом воспроизведения цветных изображений.

Некая точка P, расположенная внутри треугольника, представляет собой характеристику цвета. Определить, что представляет собой этот свет, можно следующим образом. Расположенные на стороне BR точки характеризуют цвета, содержащие основные синий и красный цвета, но не имеющие в своем составе зеленого. Например, расположенная на середине прямой BR точка M соответствует пурпурному, т. е. дополнительному к зеленому цвету; точно так же расположенная на середине прямой RG точка J соответствует *желтому* цвету (дополнительному к синему, который находится на противолежащей вершине); средняя на линии BG точка C характеризует *сине-зеленый* цвет (дополнительный к красному, находящемуся на противолежащей вершине). Центр тяжести треугольника соответствует цвету, состоящему из разных долей красного, синего и зеленого, т. е. белому цвету.

Чтобы найти на треугольнике точку, соответствующую заданному цвету, соотношение основных цветов в котором мы знаем, нужно представить, что треугольник физически состоит из трех идеальных (бесконечно жестких, но не имеющих никакой массы) брусков и в вершины треугольника поместить массы, пропорциональные величинам основных цветов. массу r в вершину R, массу g в вершину G и массу b в вершину B. Затем нужно найти центр тяжести полученной системы, который, естественно, не совпадает с геометрическим центром тяжести W треугольника. Найденную точку называют *барицентром*. Сначала сторону BR делят на равные части, количество которых равно $b+r$, и барицентр M' помещают на расстоянии r частей от вершины B (т. е. на расстоянии b частей от вершины R); затем найденную точку соединяют с вершиной G линией GM', которую делят на равные части, количество которых равно $r+b+g$; точка P, символизирующая искомый цвет, находится на расстоянии g частей от точки M' (т. е. на расстоянии $b+r$ частей от вершины G).

Если же, наоборот, нужно для данной точки P найти составляющие основные цвета, то сначала эту точку соединяют с одной из вершин треугольника (например, с вершиной G); продолжение прямой GP делит противолежащую сторону треугольника в точке M', и отношение $M'P/M'G$ дает величину g, а отношение $PG/M'G$ дает величину $r+b$; отношение $BM'/M'R = r/b$; зная $r+b$ и r/b, нетрудно найти величины r и b.

Следует отметить, что предложенное Максвеллом графическое изображение неудобно тем, что в нем оставлены все три координаты. Единственное преимущество такого построения заключается в том, что оно приводит к геометрическим фигурам в одной плоскости. А теперь мы рассмотрим графическое изображение, в котором используются лишь две координаты.

Яркость и цветность — два кита цветного телевидения

В последующих разделах книги (гл. 5) мы увидим, как важно для цветного телевидения определить новую колориметрическую величину: *цветность*. Эту цветность нужно добавить к яркости, чтобы получить полное цветное изображение.

Используя принятые в качестве стандарта основные цвета и учитывая чувствительность глаза к различным излучениям, можно выразить яркость Y простым уравнением:

$$Y = 0{,}59G + 0{,}30R + 0{,}11B$$

или приближенно

$$Y = 0{,}6G + 0{,}3R + 0{,}1B. \qquad (1)$$

Если вычесть Y из каждого из трех основных цветов, то получим группу, состоящую из трех величин:

$$R - Y;$$
$$G - Y;$$
$$B - Y,$$

которые определяют *цветность*. Изложенное позволяет сделать вывод, что эту цветность можно рассматривать как «цвет минус яркость». Иначе говоря, цветность — это то, что нужно добавить к яркости, чтобы получить полный цвет. Все перечисленные выше величины взаимозависимы: если из определяющего уравнения (1) вычесть идентичное выражение, полученное в ре-

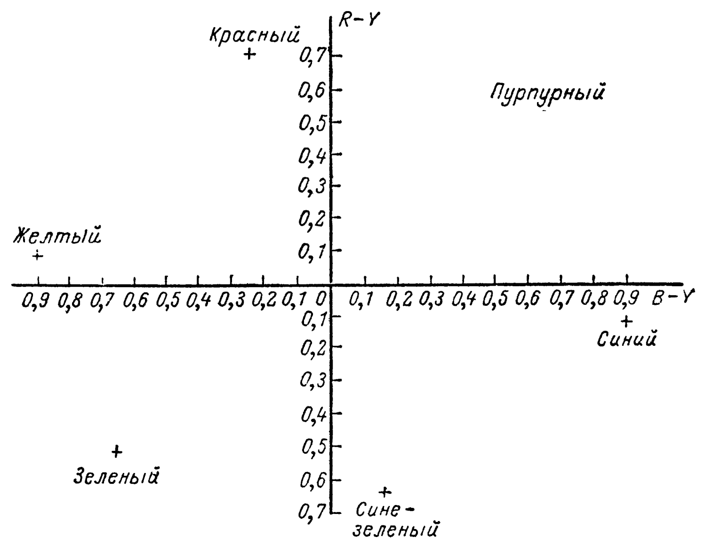


Рис. 20. График цветности, на котором показаны точки, обозначающие места основных и дополнительных к ним цветов (см. этот рисунок на цветной вклейке)

зультате разложения Y на три части (так как $0{,}6 + 0{,}3 + 0{,}1 = 1$), то получим уравнение (3):

$$Y = 0{,}6G + 0{,}3R + 0{,}1B; \qquad (1)$$

$$-\,(Y = 0{,}6Y + 0{,}3Y + 0{,}1Y); \qquad (2)$$

$$0 = 0{,}6\,(G - Y) + 0{,}3\,(R - Y) + 0{,}1\,(B - Y), \qquad (3)$$

которое можно записать в следующем виде:

$$G - Y = -\frac{1}{2}(R - Y) - \frac{1}{6}(B - Y). \qquad (4)$$

Можно построить график цветности по двум осям: $0\,(R - Y)$ и $0\,(B - Y)$ и для каждой значащей точки на этом графике можно рассчитать величину $(G - Y)$, используя для этой цели формулу (4). Чтобы этим графиком можно было пользоваться при любом способе измерения основных цветов (в люксах, в фут-ламбертах или в вольтах сигнала на выходе телевизионной камеры), желательно воспользоваться безразмерными координатами, дающими относительные величины (в процентах от максимального их значения); тогда величиной RGB можно обозначить *отношение* содержания красного, зеленого и синего в исследуемом цвете к содержанию красного, зеленого и синего в самом ярком белом цвете, три координаты которого определяются следующими выражениями:

$$R = 1;$$
$$G = 1;$$
$$B = 1.$$

Величины R, G и B в этом случае не могут быть больше 1.

Примечание. Почему отдали предпочтение $(R-Y)$ и $(B-Y)$ и не воспользовались $(G-Y)$? Потому что это последнее выражение содержит меньше информации о цветности, чем два первых. Это следует из равенства (4). Можно также отметить, что:

$$R-Y=-0{,}59G+0{,}70R-0{,}11B;$$
$$B-Y=-0{,}59G-0{,}30R+0{,}89B,$$

тогда как

$$G-Y=0{,}41G-0{,}30R-11B.$$

Рассматривая приведенные равенства, констатируем, что по абсолютной величине коэффициенты всех трех составляющих в двух первых выражениях больше, чем в последнем, что свидетельствует об их более богатом содержании информации о цветности.

Теорема I. *Сигналы цветности двух дополнительных цветов равны по своей абсолютной величине, но имеют разные знаки; точки, символизирующие на цветовом графике два дополнительных цвета, располагаются симметрично по отношению к началу координат.*

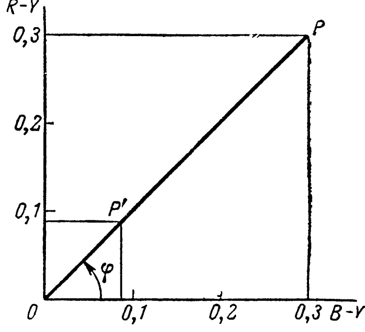


Рис. 21. График цветности с обозначением точки, соответствующей насыщенному пурпурному цвету:

$$P\begin{cases} R=0{,}5; \\ G=0; \\ B=0{,}5. \end{cases}$$

Угол $\varphi=45°$ характеризует пурпурный цветовой тон. Точка P' соответствует цвету с таким же цветовым тоном ($\varphi=45°$), с такой же яркостью ($Y=0{,}2$), но с меньшей насыщенностью:

$$P'\begin{cases} r=0{,}286; \\ g=0{,}143; \\ b=0{,}286. \end{cases}$$

Эти цвета вычитаются один из другого; для этого нужно добавить некоторое количество q белого в более насыщенный ($q=0{,}5$) и разделить новые значения основных цветов на величину $\left(1+\frac{q}{Y}\right)$:

$$\begin{cases} B-Y=0{,}3; \\ R-Y=0{,}3; \end{cases}$$
$$\begin{cases} b-Y=0{,}086; \\ r-Y=0{,}086. \end{cases}$$

Возьмем два цвета, характеризуемые составляющими:

$$R_1G_1B_1 \text{ и } R_2G_2B_2.$$

Если эти цвета аддитивно дополнительные, то сумма их координат равна координатам белого цвета; тогда

$$R_1+R_2=1; \qquad (5)$$
$$G_1+G_2=1; \qquad (6)$$
$$B_1+B_2=1 \qquad (7)$$

и

$$Y_1+Y_2=1. \qquad (8)$$

Вычитание уравнения (8) из уравнения (5) дает результат:

$$(R_1-Y_1)+(R_2-Y_2)=0$$

или

$$R_1-Y_1=-(R_2-Y_2). \qquad (9)$$

Вычитание уравнения (8) из уравнения (5) дает результат:

$$(B_1-Y_1)+(B_2-Y_2)=0$$

или

$$B_1-Y_1=-(B_2-Y_2). \qquad (10)$$

Равенства (9) и (10) определяют координаты двух точек, расположенных симметрично по отношению к началу координат точке 0.

Как видно из графика, желтый цвет служит дополнительным синему, пурпурный — зеленому и сине-зеленый — красному.

Теорема II. *Равные нулю сигналы цветности характеризуют нейтральный серый цвет. Точка, символизирующая нейтральный серый, черный или белый цвета, находится у начала координат графика цветности.*

Действительно:

$$R - Y = B - Y = 0;$$

применяя уравнение (4), выводим:

$$G - Y = 0$$

и, следовательно, получаем:

$$R = B = G = Y,$$

а мы знаем, что цвет, состоящий из равных количеств всех трех основных цветов, по своей природе ахроматичен (Закон Ньютона).

Следовательно, нейтральный серый цвет полностью характеризуется одной своей яркостью.

Теорема III. *Расстояние L от символизирующей цвет точки P до начала координат O характеризует насыщенность.*

Представим себе цвет со следующими составляющими: R_1, G_1 и B_1 при яркости Y_1.

Расстояние от точки P до начала координат O равно:

$$L_1 = \sqrt{(R_1 - Y_1)^2 + (B_1 - Y_1)^2}.$$

Если разбавить этот цвет путем добавления к нему некоторого количества q белого цвета, то его координаты примут следующий вид:

$$R_1 + q; \ G_1 + q \text{ и } B_1 + q \text{ при яркости } Y_1 + q.$$

Чтобы сравнить эти два цвета, имеющие все равные условия, умножим координаты на величину:

$$\frac{Y_1}{Y_1 + q} = \frac{1}{1 + q/Y_1}.$$

Тогда оба цвета будут иметь одинаковую яркость и будут различаться между собой только насыщенностью. Новые основные цвета будут характеризоваться следующими выражениями:

$$R_2 = (R_1 + q)/(1 + q/Y_1);$$
$$G_2 = (G_1 + q)/(1 + q/Y_1);$$
$$B_2 = (B_1 + q)/(1 + q/Y_1)$$

и

$$Y_2 = Y_1.$$

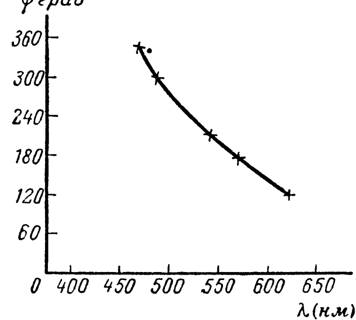


Рис. 22. Угол, образованный горизонтальной осью и исходящим из начала координат вектором, характеризует цветовой тон, т. е. доминирующую длину волны изображаемого цвета. На этом графике нет пурпурных цветов, которые, как известно, не бывают монохроматическими (следовательно, для них нет возможности определить доминирующую длину волны).

Рассчитаем сигналы цветности:

$$R_2 - Y_2 = \frac{R_1 + q}{1 + q/Y_1} - Y_1 = \frac{R_1 - Y_1}{1 + q/Y_1};$$

$$G_2 - Y_2 = \frac{G_1 - Y_1}{1 + q/Y_1};$$

$$B_2 - Y_2 = \frac{B_1 - Y_1}{1 + q/Y_1}$$

и

$$L_2 = \frac{L_1}{1 + q/Y_1}.$$

Цвета	Длина доминирующей волны, *нм*	G	R	B	Y	$R-Y$	$B-Y$	tg φ	φ
Синий	470	0	0	1	0,1	—0,1	0,9	—0,0111	353°40′
Сине-зеленый	490	1	0	1	0,7	—0,7	0,3	—2,33	293°30′
Зеленый	540	1	0	0	0,6	—0,6	—0,6	1	225°
Желтый	570	1	1	0	0,9	0,1	—0,9	—0,111	173°40′
Красный	620	0	1	0	0,3	0,7	—0,3	—2,33	113°30′
Пурпурный	—	0	1	1	0,4	0,6	0,6	1	45°

Чем больше добавляют белого, т. е. увеличивают q, или, иначе говоря, разбавляют цвет, тем при одинаковой яркости обозначающая этот цвет точка все больше приближается к началу координат.

Из этого можно сделать вывод, что расстояние от символизирующей цвет точки до начала координат отображает насыщенность цвета. Однако не следует спешить с выводом, что это расстояние пропорционально насыщенности. Рассмотрим случай трех одинаково насыщенных основных цветов.

Для чистого красного цвета мы имеем:

$$(R=1,\ G=0,\ B=0);$$
$$Y=0{,}3 \text{ и } L=0{,}7;$$
$$L/Y=2{,}34.$$

Для чистого зеленого цвета мы имеем:

$$(R=0,\ G=1,\ B=0);$$
$$Y=0{,}6 \text{ и } L=0{,}85;$$
$$L/Y=1{,}41.$$

Для чистого синего цвета мы имеем:

$$(R=0,\ G=0,\ B=1);$$
$$Y=0{,}1 \text{ и } L=0{,}9;$$
$$L/Y=9.$$

Это отображение справедливо только для *одного конкретного цветового тона.*

Теорема IV. *На графике цветности угол, образуемый осями координат и лучом, исходящим из начала координат и проходящим через символизирующую цвет точку P, характеризует цветовой тон.*

Обозначим этот угол знаком φ. Положение точки P определяется величинами $(R—Y)$ и $(B—Y)$. Теперь обозначим на графике цветности точки, символизирующие основные цвета R, G и B и дополнительные цвета C (сине-зеленый), M (пурпурный) и J (желтый). Само собой разумеется, что эти последние симметричны первым относительно начала координат O. Теперь мы можем измерить для каждого из цветов угол φ, а также можно рассчитать величину этого угла для любого цвета, используя для этой цели следующую формулу:

$$\operatorname{tg}\varphi=\frac{R-Y}{B-Y}.$$

Теперь проведем кривую φ = *f (цветовой тон).*

Следовательно, находя место каждой точки на графике цветности в полярных координатах, мы тем самым одновременно определяем для нее цветовой тон и насыщенность.

Отметим, что график цветности можно рассматривать как сечение цилиндра цветов (см. гл. 3) по плоскости, перпендикулярной оси яркостей.

ГЛАВА 5

Здесь мы вновь встречаемся с нашими друзьями, которые кратко рассматривают различные возможные системы передачи цветных изображений. И в виде заключения они излагают основные принципы различных используемых в настоящее время совместимых систем цветного телевидения. Попутно они рассматривают следующие темы:

Трехканальные передающие системы. Использование одного объектива. Дихроичные зеркала и фильтры. Телевизионная камера. Трапецеидальная аберрация. Тринескоп. Системы с поочередным сложением цветных полукадров. Проблема ширины передаваемого спектра частот. Двойная совместимость. Разделение сигналов яркости и цветности. Роль поднесущей. Выделенные диапазоны частот. Кодирующее и декодирующее устройства.

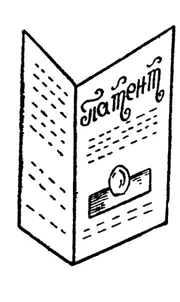
ПЕРЕДАЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Незнайкин открывает Америку

Незнайкин. — До сих пор, Любознайкин, ты, если так можно выразиться, показывал мне все краски, но о телевидении не было и речи.

Любознайкин. — А разве прежде, чем приступить к проблеме передачи цветных изображений, не следует детально разобраться, как мы это сделали в различных физических и физиологических аспектах такого особенно сложного явления, как цвет?

Н. — Несомненно. Но я полагаю, что теперь моих знаний в этой области достаточно, чтобы я смог сам придумать одновременно простую и эффективную систему цветного телевидения. Я намереваюсь взять на свое изобретение патент, но тебе по секрету расскажу принципы этой системы.



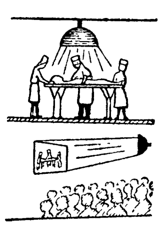
Л. — Я сгораю от нетерпения познакомиться с твоим последним изобретением

Н. — Система очень проста, но, как и в случае с яйцом Христофора Колумба, нужно было додуматься. Трехцветный принцип получения цветных изображений позволяет воспроизводить все краски с помощью трех основных цветов: *красного, зеленого* и *синего,* поэтому я предлагаю воспользоваться для телевизионной передачи тремя камерами, объективы которых снабжены фильтрами названных цветов. Таким образом мы получим видеосигналы, соответствующие красному, зеленому и синему изображениям. Мы передадим их на трех разных волнах на три проекционных телевизионных приемника, объективы которых также будут снабжены соответствующими цветными фильтрами. Проецируя эти три изображения на один экран так, чтобы они точно накладывались одно на другое, мы получим наше цветное изображение.

Вот и все!

Л. — Мой друг, я еще раз должен разочаровать тебя и сказать, что такая система уже очень давно была предложена.

Н. — Несчастный я! Почему я не родился раньше! Уже все изобрели до меня!.. А теперь ты, по-видимому, еще скажешь, что эта система ничего не стоит и что от нее уже давно отказались.



Л. — Ну в этом-то, дорогой друг, ты заблуждаешься. Этот принцип и в наши дни широко используется в замкнутых телевизионных системах. Так, например, благодаря такой системе сотни студентов медиков, сидя в обычной аудитории, могут наблюдать за всем ходом хирургической операции, не мешая своим присутствием работающим в операционной людям. Цвет в данном случае позволяет лучше видеть, что

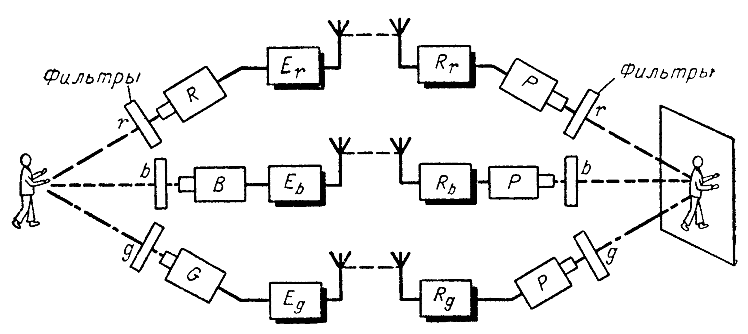


Рис. 23. Система одновременной передачи цветов, в которой в передающей и приемной частях используются три полных канала.

Изображение воспринимается тремя камерами *R*, *B* и *G*, снабженными соответственно красным, синим и зеленым фильтрами. Сигналы с этих камер модулируют излучение трех передатчиков E_r, E_b и E_g. Передаваемые волны принимаются приемниками R_r, R_b и R_g; усиленные сигналы модулируют три проекционных кинескопа, снабженных красным, синим и зеленым фильтрами, а проецируемые изображения накладываются одно на другое на экране.

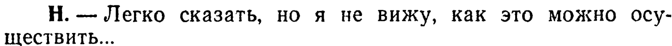
происходит в операционной. Это показывает, что твоя идея неплоха, но ее применение несколько ограничено, а кроме того, в подобных системах приходится прибегать к определенной коррекции.

Ты предлагаешь использовать три телевизионные камеры, каждая из которых снабжена собственным объективом с цветным фильтром. Представляешь ли ты, что в этом случае все три объектива «увидят», а следовательно, и передадут сцену под различными углами?

Н. — Да, об этом-то я и не подумал. Ведь даже, если расположить наши камеры одну рядом с другой, то полученные изображения будут несколько различаться, особенно значительные различия будут для предметов, находящихся на переднем плане. Но я твердо убежден, что ты дашь мне средство для устранения этого недостатка.

Три камеры с одним объективом

Л. — Сама логика подсказывает это средство: использовать только один объектив. А проходящие через этот объектив световые лучи надлежит равномерно распределить между тремя камерами, снабженными необходимыми цветными фильтрами.



Н. — Легко сказать, но я не вижу, как это можно осуществить...

Л. — Совсем несложно с помощью системы отражающих и полупрозрачных зеркал, которые также называют *дихроичными.*

Н. — Что это еще за зеркала?

Л. — Отражающее зеркало, как ты знаешь, представляет собой стекло, одна сторона которого покрыта амальгамой, состоящей из ртути и олова. В дихроичном зеркале эта амальгама заменена несколькими (в среднем двенадцатью) чрезвычайно тонкими (порядка сотни нанометров!) слоями из прозрачных материалов, имеющими поочередно низкие и высокие

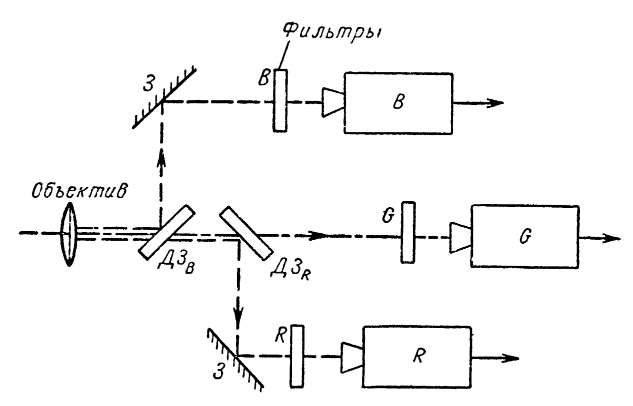
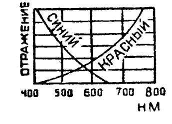


Рис. 24. Прошедшие через единственный объектив световые лучи с помощью системы из обычных (*З*) и дихроичных (*ДЗ$_B$* и *ДЗ$_R$*) зеркал разделяются на три пучка, которые через соответствующие фильтры подаются на трубки трех телевизионных камер *B*, *G* и *R*.

коэффициенты преломления Такое зеркало отражает все световые волны выше (или ниже) определенной длины и пропускает все остальные.

Н. — Значит дихроичное зеркало можно уподобить фильтру верхних или нижних частот?



Л. — Это сравнение вполне оправдано. Как и в электрических фильтрах, здесь нет четкой границы между тем, что пропускается, и тем, что отражается: переход от одного к другому постепенный. Мы называем «синим» дихроичное зеркало, которое отражает волны длиной до 460 *нм* и пропускает волны длиной свыше 500 *нм* Названием «красное» обозначается дихроичное зеркало, отражающее волны длиной свыше 580 *нм* и пропускающее все более короткие волны

Теперь посмотри на расположение моих зеркал (рис. 24). Поступающий из объектива свет сначала попадает на дихроичное зеркало *ДЗв*, которое отражает синие лучи и пропускает зеленые и красные. Отраженные синие лучи с помощью обычного зеркала *З* направляются в выделенную для синей составляющей камеру, куда они попадают, пройдя через синий светофильтр.

Н. — Рассматривая рисунок, я вижу, что прошедшие через дихроичное зеркало *ДЗв* лучи попадают на другое дихроичное зеркало, обозначенное *ДЗR*. Оно отражает крас-

ные лучи, но пропускает зеленые, которые направляются в выделенную для них камеру, проходя на этом пути, естественно, через зеленый светофильтр. Красные же лучи после отражения обычным зеркалом *З* и прохождения через красный светофильтр поступают в соответствующую камеру.

Л. — Именно так. По принципу, который мы сейчас разобрали, устроены все телевизионные камеры, используемые в студиях цветного телевидения. В этих камерах можно обнаружить другие приспособления и другие зеркала; в них используются также различные оптические устройства, предназначенные для коррекции некоторых искажений, как, например, астигматизма, возникающего при прохождении лучей через дихроичные зеркала. Но нам нет необходимости рассматривать все эти подробности. Попутно я могу сказать, что искажения могут возникнуть также и в процессе приема при проецировании изображений на экран.

Три передающих канала

Н. — Если проекторы установлены точно, то я не вижу, что могло бы внести искажения в полученное изображение.

Л. — Исходящий из стоящего в середине проектора прямоугольный поток света дает на экране изображение прямоугольной формы. Но изображения, проецируемые крайними проекторами, на экране получаются в форме трапеций. Но успокойся: у оптиков в их мешке не один фокус и им удается исправить эту трапецеидальную аберрацию. Радиотехники также успешно справляются с этой задачей...

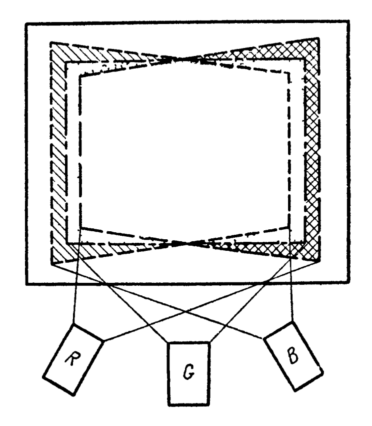


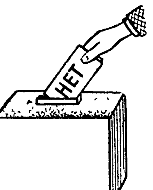
Рис. 25. Только одна из трех размещенная в середине проекционная трубка *G* дает на экране свободное от трапецеидальной аберрации изображение.

Н. — А у меня есть еще одна идея. Почему бы при приеме не использовать ту же систему из обычных и дихроичных зеркал? Обратимость явлений...

Л. — Незнайкин, это и делают. В тех случаях, когда не требуется проецировать изображение на большой экран, можно получить три изображения на экранах обычных электроннолучевых трубок, а затем с помощью системы, состоящей из цветных фильтров и зеркал, совместить их так, чтобы получить цветное изображение. Такое устройство называют «тринескопом».

Н. — Насколько я тебя знаю, ты сейчас начнешь перечислять все недостатки «моего» способа.

Л. — До тех пор, пока изображение передается в замкнутой системе по проводам или по коаксиальному кабелю на относительно небольшое расстояние, эта система вполне приемлема. Впрочем, как я уже сказал, это же устройство используется в телевизионной камере при передаче цветных программ из телецентра. Но если ты предложишь использовать



в качестве несущей видеосигналов от трех камер три волны разной длины, то встретишь категорический отказ.

Н. — Понимаю: пресловутая «загруженность эфира», о которой всегда говорят, хотя гипотеза об эфире уже давным-давно отвергнута.

Л. — И тем не менее это очень удобная для разговора форма. Ведь жизненное пространство в частном спектре отмерено нам очень скупо. И если для одного передатчика ты захочешь занять полосу частот трех передатчиков, то вызовешь настоящую войну. А кроме того, представляешь ли ты себе размеры и цену приемной установки, эквивалентной трем обычным телевизорам.

Поочередное сложение цветных полукадров

Н. — Моя мать никогда не позволит поставить подобную аппаратуру в нашей маленькой гостиной... Поэтому я вынужден отказаться от своего проекта, хотя в нем, как это ты сам признаешь, есть полезные идеи. И раз одновременная передача всех трех основных цветов оказалась совершенно непрактичной, почему бы нам не воспользоваться принципом последовательной передачи, который выдвинут французом Константином Сенлеком и до сих пор является основой любого монохроматического телевидения? Что скажешь ты, Любознайкин, о системе, где *последовательно* передавались бы все три изображения: *красное, зеленое* и *синее,* при условии достаточно быстрого чередования, чтобы восприятия складывались в нашем мозгу и создавали впечатление изображения во всех его природных цветах.

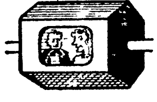
Л. — То, что ты предлагаешь, не только возможно, но уже было осуществлено на практике. Даже больше: предлагаемый тобою метод был разработан американской радиовещательной компанией CBS (Columbia Broadcasting System) и официально принят в 1950 г. Федеральной комиссией связи FCC (Federal Communications Commission), которая в Соединенных Штатах ведает всеми областями электросвязи.

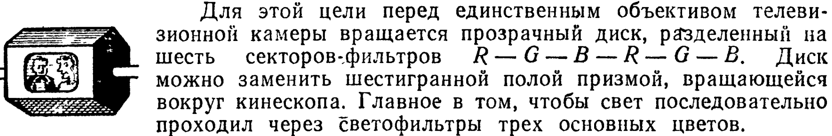
Н. — Как видишь, мои идеи имеют ценность! Но как практически они были реализованы?

Л. — Последовательно передавали полукадры четных и нечетных строк всех трех цветов. Например, в следующем порядке:

1) нечетные строки красного цвета;
2) четные строки зеленого цвета;
3) нечетные строки синего цвета;
4) четные строки красного цвета;
5) нечетные строки зеленого цвета;
6) четные строки синего цвета

...и так далее...





Для этой цели перед единственным объективом телевизионной камеры вращается прозрачный диск, разделенный на шесть секторов-фильтров $R - G - B - R - G - B$. Диск можно заменить шестигранной полой призмой, вращающейся вокруг кинескопа. Главное в том, чтобы свет последовательно проходил через светофильтры трех основных цветов.

Н. — А какова частота чередования полукадров?

Л. — В Европе мы передаем в секунду 25 полных кадров или 50 полукадров. Следовательно, при сохранении такой

частоты каждый оборот диска соответствует 6 полукадрам, значит, мы должны вращать диск со скоростью 50 : 6, или немногим более 8 оборотов в секунду.

Слишком много недостатков!

Н. — Это немало для нашего диска, который должен быть внушительных размеров, ибо сектор, занимающий $^1/_6$ круга, должен полностью закрывать экран кинескопа. Потому что, как я догадываюсь, перед экраном приемника подобный же диск вращается синхронно с диском на передающей камере. Впрочем ты писал мне об этом в своем письме.

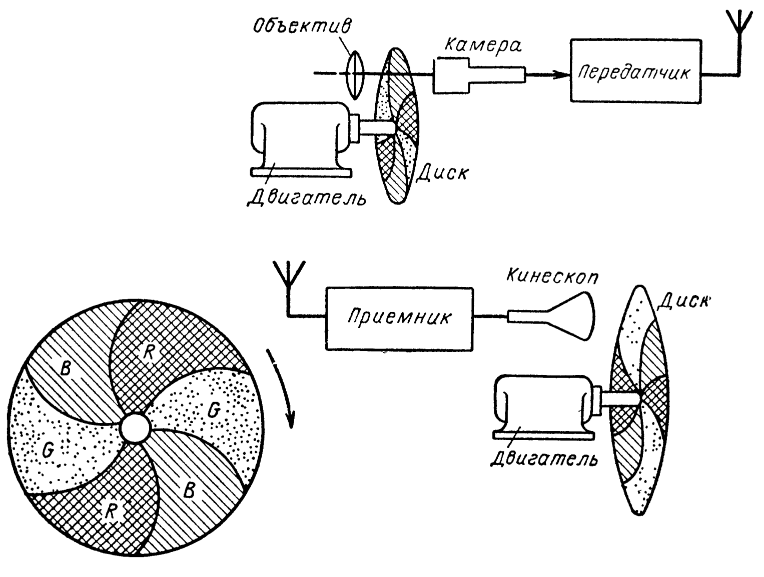
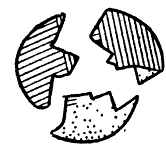


Рис. 26. Принцип системы с поочередным сложением цветных полукадров, в которой в передающей части перед камерой, а в приемной части перед кинескопом установлены вращающиеся диски с фильтрами.

Л. — Да, дорогой друг, вращающийся с подобной скоростью большой диск развивает центробежную силу, пренебрегать которой нельзя. Вторжение механики в царство радиоэлектроники при всех обстоятельствах само по себе неприятно. Но и без этого система отличается большими недостатками. Пойми, что полное изображение создается из четных и нечетных строк всех трех основных цветов за один полный оборот диска, или за $^6/_{50}$ *сек*, т. е. примерно за $^1/_8$ *сек*, что несколько превышает длительность сохранения зрительного ощущения. А это означает, что у нас больше не будет впечатления непрерывности и изображение начнет мелькать.



Н. — Да, это очень существенно!

Л. — И это еще не все. За изображением движущихся людей или предметов на экране будет следовать цветная бахрома Понять причину этой неприятности несложно. Предположим, что за $^1/_8$ *сек* изображение предмета на экране

переместилось на 1 *см.* За это время оно поочередно было красным, зеленым, синим и еще раз красным, зеленым и синим, но при этом не произошло точного наложения этих одноцветных изображений одно на другое, иначе говоря, контуры этих одноцветных изображений появлялись на экране смещенными относительно друг друга.

Н. — Я предполагаю, что такое же явление должно возникнуть, если телезритель сделает головой резкое движение в сторону: вследствие некоторого расстояния, отделяющего фильтр от экрана, возникает определенный параллакс, который тоже должен проявляться в виде цветной каймы на изображении.

Л. — Ты не ошибаешься, Незнайкин. А что ты думаешь об этой так называемой системе *«последовательной передачи полукадров»* с точки зрения пресловутого «загромождения эфира»?

Н. — Положительно ничего хорошего, но также и ничего плохого, так как в этом случае мы «просматриваем» изображение с такой же скоростью, как в обычном монохроматическом телевидении. И, несомненно, именно по этой причине эта система получила благословение американской Федеральной комиссии связи.

Л. — Но не надолго, так как уже через год, в 1951 г., FCC изменила свое мнение и приняла в качестве стандарта для цветного телевидения систему, предложенную Национальным комитетом по телевидению — NTSC *(National Television System Committee).* Но существуют и другие системы, я лишь назову проекты других систем и, в частности, созданный исследователями американской фирмы RCA *(Radio Corporation of America),* которые основаны не на чередовании полукадров трех основных цветов, а на *чередовании строк* и даже на *чередовании точек.* Но все эти системы обладают одним главным и общим для них недостатком — *они несовместимы!*

Н. — Но это ужасно!.. По крайней мере мне так кажется, ибо я совсем не представляю, о какого рода несовместимости идет речь.

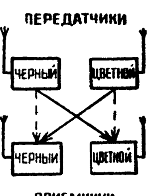
Условия двойной совместимости

Л. — Здесь мы с благодарностью должны упомянуть имя французского инженера Жоржа Валенси, крупного специалиста по электросвязи и, несомненно, одного из выдающихся пионеров телевидения, который еще до второй мировой войны четко сформулировал условия двойной *совместимости,* которым должна удовлетворять любая рациональная система цветного телевидения. Абсолютно справедливо Валенси предположил, что как цветная фотография и цветное кино не уничтожили «черно-белых» фотографий и кино, так и цветное телевидение не приведет к исчезновению монохроматического телевидения. Между этими двумя видами телевидения должен установиться статут «мирного сосуществования».

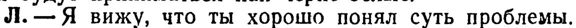
Действительно, в каждой стране к началу цветных передач миллионы семей уже имеют черно-белые телевизоры. Поэтому, чтобы никого не обидеть, Валенси выдвинул два следующих основных требования:

1. *Передаваемые в цвете программы должны также исправно приниматься монохроматическими телевизорами, на экранах которых они, разумеется, появятся только в одном цвете (или, как обычно говорят, в «черно-белом варианте»).*

2. *Передаваемые в эфир «черно-белые» программы должны также приниматься «цветными» телевизорами, на которых они, естественно, будут одноцветными.*



Н. — Значит, если я правильно понимаю, эти принципы двойной совместимости имеют целью дать каждому телезрителю, как владеющему старым черно-белым, так и современным цветным телевизором, возможность принимать все программы независимо от того, передаются они в цвете или в черно-белом варианте; в первом случае, естественно, все передачи будут приниматься как черно-белые.



Л. — Я вижу, что ты хорошо понял суть проблемы.

Н. — Но я не так ясно вижу, каким должно быть решение. Разумеется, не сложно получить одноцветное изображение черно-белой передачи на экране цветного телевизора...

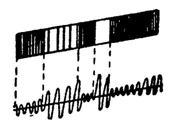
У Незнайкина рождается яркостная идея

Л. — Ошибаешься, дорогой друг! Именно это наиболее сложно осуществить. Позже ты увидишь, что из всех возможных цветов труднее всего воспроизвести белый и черный. Как часто приходится видеть горные пейзажи, с розовым, синим, желтым или зеленоватым, но никогда не белым снегом, потому что телевизор недостаточно хорошо отрегулирован...

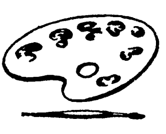
Н. — Очень любезно со стороны твоего Валенси сформулировать условия. Ведь их еще надо иметь возможность выполнить!

Л. — Он более любезен, чем ты это предполагаешь, так как он не только высказал принцип совместимости, но и указал пути, позволяющие удовлетворить эти требования. Все принятые в настоящее время системы основаны на идеях, сформулированных им еще до войны. И если я так долго разъяснял тебе физические характеристики цвета и его восприятия человеком, то делал это лишь для того, чтобы ты легче понял основную мысль Валенси.

Н. — Подожди, Любознайкин! Мне кажется и без твоего объяснения я уже кое о чем догадался. В черно-белом (или, говоря строго, в монохроматическом) изображении элементы для нас различаются *только своей яркостью.* Следовательно, чтобы монохроматический телевизор был способен принимать цветные передачи, необходимо, чтобы несущая волна была модулирована видеосигналом яркости, как модулируется несущая черно-белого передатчика.



Л. — Должен признать, Незнайкин, что я восхищаюсь твоей мощной способностью логически мыслить. Высказанное тобою предположение исключительно правильно. И в американской системе NTSC, и в созданной во Франции системе SECAM, и в системе немецкого происхождения PAL *несущая модулируется по амплитуде видеосигналом яркости,* который характеризует относительную яркость последовательно рассматриваемых элементов изображения. И телезритель, имеющий монохроматический телевизор, принимает эти изображения, но он не может видеть всей гаммы красок, которой наслаждаются счастливые владельцы цветных телевизоров.



Н. — Теперь я понимаю, почему при составлении яркостного сигнала Y так странно дозируют сигналы трех основных цветов:

$$Y = 0{,}59G + 0{,}30R + 0{,}11B.$$

Наш глаз наиболее чувствителен к зеленым и наименее чувствителен к синим лучам, и такая смесь делается для того,

чтобы те, кто видит монохроматическое (черно-белое) изображение, имели впечатление такой же цветовой интенсивности, как и те, кому посчастливилось любоваться всем богатством красок. Поэтому в яркостный сигнал вводят 59% зеленого, только 30% красного, а частичка синего составляет всего лишь оставшиеся 11%.

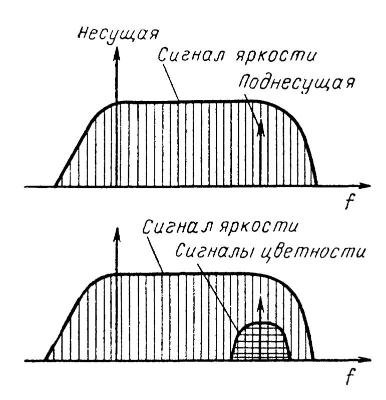


Рис. 27. Спектр частот, занимаемых несущей, модулированной по амплитуде сигналом яркости, и поднесущей, не модулированной (вверху) или модулированной сигналами цветности (внизу).

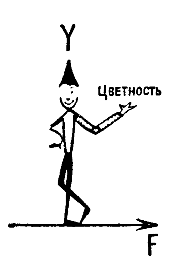
Л. — Ты, Незнайкин, сейчас находишься в расцвете своих творческих сил! Совершенно верно, что, учитывая неодинаковую чувствительность глаза к различным цветам, так дозируют величину трех сигналов основных цветов, чтобы яркостное впечатление при приеме цветных передач на черно-белый телевизор тоже было хорошим. А черно-белые программы также в наилучших условиях принимаются цветным телевизором.

Несущая и поднесущая

Н. — А каким образом доставляют цветному телевизору ту дополнительную информацию, которая придает цвета черно-белому изображению?

Л. — Для этого необходимо передавать сигналы *цветности*. Я позволю себе напомнить тебе, что этим термином обозначают ощущение цветового тона и насыщенности, вызываемое спектральным составом света. Принцип трехцветного способа...

Н. — Надеюсь, Любознайкин, ты не скажешь мне, что кроме одной передающей яркость волны для доставки относительных величин трех основных цветов нам потребуются еще три волны! Что станет тогда с пресловутым «загромождением эфира»?!



Л. — Успокойся, дорогой друг. Для передачи всех сигналов мы ограничимся только одной несущей волной. Но мы оснастим ее своего рода искусственной рукой, которую назовем *поднесущей,* она и будет посланцем цветности.

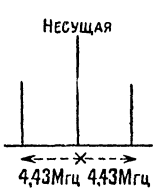
Н. — Все лучше и лучше! Прежде всего, что представляет собой поднесущая?

Л. — Речь идет о хитром приеме, которым часто пользуются в технике электросвязи и, в частности, в многоканальной телефонии. Ты знаешь, что телевизионные передачи ведутся в диапазоне метровых и особенно дециметровых волн, частоты которых измеряются сотнями мегагерц. Ты также знаешь, что видеосигналы занимают полосу в несколько мегагерц (5 *Мгц* в европейском 625-строчном стандарте и 6 *Мгц* во французском стандарте). Модулируемая несущая располагается так, что по одну и другую сторону от ее частоты находятся две боковые полосы модуляции. Для уменьшения

места, занимаемого передачей в спектре частот, значительную часть боковой полосы подавляют.

Н. — Все это, Любознайкин, я давно знаю, ведь ты мне это объяснил еще тогда, когда обучал меня основам радиотехники.

Л. — А теперь предположи, что ты модулируешь свою несущую сигналом только одной частоты, скажем 4,43 *Мгц*.



Н. — Этот сигнал породит две боковые частоты модуляции, отстоящие от частоты несущей волны на 4,43 *Мгц* в большую и в меньшую стороны.

Л. — Совершенно правильно. Впрочем, мы можем убрать одну из этих двух боковых. А теперь предположи, что эти колебания частотой 4,43 *Мгц*, которые и являются поднесущей, в свою очередь модулируются сигналами значительно более низкой частоты.

Н. — Но это заколдованный круг! Как я полагаю, в этом случае по обе стороны поднесущей частоты образуются боковые полосы частот модуляции. При графическом воспроизведении чистая, т. е. синусоидальная поднесущая, представляет собой простую вертикальную линию. В случае модуляции она превращается в прямоугольник, ширина которого определяется наибольшей величиной модулирующей частоты.

Передача цветности

Л. — Чудесно, Незнайкин! Теперь я могу сказать тебе, что эта частота 4,43 *Мгц* была принята для европейского стандарта цветного телевидения с разложением на 625 строк. И эту поднесущую модулируют яркостными сигналами, которые занимают относительно узкую полосу частот.

Н. — Почему?

Л. — Потому, что для цветности нам совершенно нет необходимости иметь такую же высокую разрешающую способность, как для яркости. Вспомни о хроматической аберрации и о неравномерном распределении колбочек, что снижает разрешающую способность глаза для цветных изображений. Разрешающая способность глаза для цветовых тонов и степеней насыщенности далеко не критична. *Четкость передачи деталей цветного изображения практически не связана с их цветом и определяется яркостью.* Поэтому сигнал яркости передается полностью, т. е. с такой же шириной полосы, как в черно-белом телевидении. Что же касается сигнала цветности, то он занимает довольно узкую полосу частот, чтобы не выходить за пределы полосы частот сигнала яркости, как это показано на моем графике.

Н. — После твоего объяснения у меня нет никаких возражений против снижения четкости в цветности. Я вспоминаю, как в раннем детстве я забавлялся раскрашиванием напечатанных черно-белых картинок. Я закрашивал картинки широкими мазками толстой кисточкой, и мои краски почти везде выходили за контуры рисунка. Но результат был совсем неплохой, так как восприятие в первую очередь зависело от напечатанного черной краской рисунка.



Л. — Как ты видишь, благодаря хитрому приему с поднесущей, которая доставляет цветность, общая ширина полосы, занимаемая при передаче цветной телевизионной программы, не шире полосы частот, используемой в монохроматическом телевидении.

Н. — Это действительно очень хорошо. Но я чувствую, как в моем мозгу возникают и сталкиваются между собой тысячи вопросов. Как может поднесущая доставлять информацию о трех основных цветах? Каким образом...

Л. — Помилуй, Незнайкин, остановись! Не все сразу. Модулирование поднесущей производится по амплитуде в системах NTSC и PAL; в системе SECAM поднесущая модулируется по частоте. Что же касается трех основных цветов, то из них передают только два: красный и синий или, точнее, разность между сигналами цвета R и B и сигналом яркости Y или

$$R - Y \text{ и } B - Y.$$

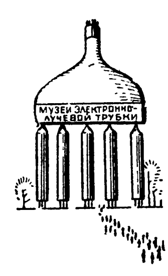
Н. — Но в этом случае изображение воспроизводится только двухцветным способом? Ты приносишь в жертву зеленый? Этот цвет надежды!..

Л. — Успокойся: зеленый восстанавливается при приеме. Не забывай, что сигнал яркости содержит сигналы всех *трех* цветов. Таким образом, располагая сигналом яркости Y, полученным в результате демодуляции несущей волны, ты можешь для начала вновь получить сигналы R и B путем простого сложения передаваемых сигналов:

$$Y + (R - Y) = R;$$
$$Y + (B - Y) = B.$$

И тебе остается лишь вычесть эти два сигнала из Y (который представляет собой сумму всех трех цветных сигналов), чтобы вновь обрести «зеленый» сигнал.

Н. — Это кажется тебе очень простым. Но я начинаю испытывать головокружение. Я просто не вижу, каким образом из всех этих сигналов можно получить при приеме настоящие краски.



Л. — А почему бы тебе в один прекрасный день не посетить Музей электроннолучевой трубки? Там ты найдешь ответ на многие вопросы... А пока запомни, что различные манипуляции, имеющие целью различное комбинирование сигналов яркости и цветности при передаче, осуществляются совокупностью схем, именуемой *кодирующим устройством*. А в приемнике имеется *декодирующее устройство*, служащее для извлечения из передаваемых сложных сигналов напряжений, которые прилагаются к электродам этого чудесного прибора, который тебе покажут в Музее электроннолучевой трубки.

ГЛАВА 6

Посещение воображаемого музея позволит читателю ознакомиться с различными устройствами, изобретенными с целью воспроизведения цветного изображения из сигналов, приносящих «электрический перевод» этого изображения. Во время посещения музея рассматриваются следующие вопросы:

Проектор с тремя электроннолучевыми трубками. Проблема сходимости. Гамма. «Эйдофор». Кинескоп с теневой маской. Проблема чистоты. Размагничивание. Кинескоп будущего.

В МУЗЕЕ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ТРУБКИ

Молодой экскурсовод остановился на пороге зала и повернулся к группе студентов, пришедших со своим профессором. Он окинул юношей взглядом, чтобы убедиться, что ни один из них не отстал от группы, увлекшись лампой бегущей волны, запоминающей электроннолучевой трубкой или в «Зале Ли де Фореста».

Он только что окончил Высшую школу телевизионной техники и готовил свою диссертацию в лабораториях Международного музея электроннолучевой трубки, а теперь он водит по Музею молодых посетителей и дает им пояснения. Он любит историю техники и поэтому довольно долго остановился на пришедшей Эдиссону идее поместить в электрическую лампу дополнительную нить накала с целью повысить световую отдачу, что по сути дела породило диод и положило начало великой истории электроники.

Молодой экскурсовод с большим энтузиазмом относится к своей новой работе; объясняет он очень просто, и студенты не переговариваются; они внимательно слушают и даже задают вопросы.

Когда вся группа собралась около него, он начал свой рассказ:

— Теперь мы войдем в совершенно новый зал — его всего лишь неделю тому назад открыли для посетителей. Это Отдел специальных электроннолучевых трубок и методов воспроизведения цветных телевизионных изображений.

Он открыл дверь, и группа влилась в новый зал. Экскурсовод запер дверь, прошел через расступившуюся перед ним группу и ключом указал на стоящее в зале устройство внушительных размеров. Как только он заговорил, студенты немедленно смолкли.

— Все вы знакомы с принципами цветного телевидения; вы также знаете, что в приемнике на выходе декодирующего устройства мы получаем три видеосигнала, которые соответственно представляют красный, зеленый и синий цвета, содержащиеся в цветном изображении.

Он выдержал паузу. Стоящие напротив него студенты утвердительно кивнули головами, в это время профессор, высоко подняв бровь, внимательно разглядывал студентов, выясняя, нет ли среди них лентяя, который не сумел воспользоваться его поучительными уроками и до сих пор остался

в неведении относительно этих элементарных понятий цветного телевидения. Экскурсовод продолжил свои объяснения:

— Первой приходит в голову идея использовать три таких же кинескопа, как в черно-белом телевизоре, подавая на них соответственно сигналы *R*, *G* и *B*. Если перед кинескопом, на который подается сигнал *R*, поставить красный фильтр, перед кинескопом, получающим сигнал *G*, — зеленый фильтр, а перед третьим кинескопом — синий фильтр, то получим три изображения в основных цветах; для получения полного цветного изображения достаточно совместить оптическим способом эти три первичные изображения.

Снова тридцать голов склонились в знак понимания. Молодой человек

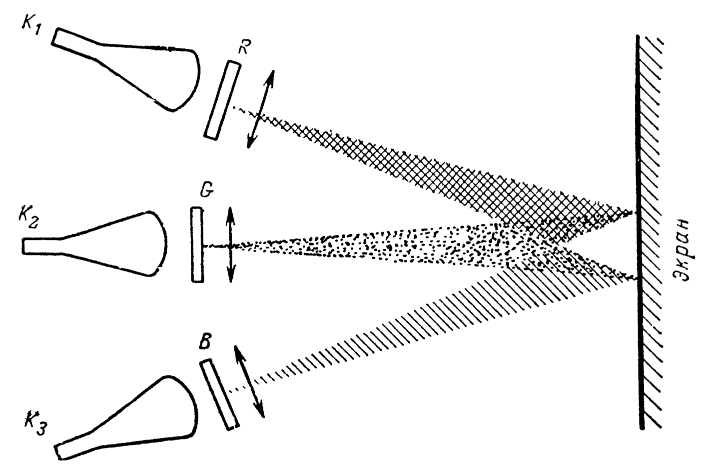


Рис. 28. Проектор с тремя электроннолучевыми трубками.
Изображения с трубок K_1, K_2 и K_3 окрашиваются фильтрами *R*, *G* и *B* и проецируются тремя объективами на общий экран.

чувствовал себя в своей стихии; он полюбил эту небольшую группу слушателей и был счастлив иметь возможность объяснить этим девственным умам то, что сам он постиг несколько лет тому назад.

— Один из способов совмещения первичных изображений заключается в использовании трех проекционных кинескопов и в проецировании с помощью объективов трех полученных изображений на общий экран.

Он нажал кнопку на пульте, у которого стоял; зал постепенно погрузился в темноту и его белый халат причудливо выделялся на сером фоне аппаратуры. Все головы повернулись к экрану, который медленно разворачивался в нескольких метрах от установки. Цветное изображение очаровательной молодой женщины в соломенной шляпке появилось на экране. Экскурсовод неожиданно нажал две кнопки сразу, и женщина вдруг стала вся зеленая. Дружный взрыв смеха приветствовал такую метаморфозу; профессор, улыбаясь, шепнул студентам «тихо». Демонстратор подождал, пока шум уляжется, и продолжал:

— То, что вас так позабавило, представляет собой зеленую составляющую цветного изображения. Я выключил видеосигналы красного и синего. Теперь посмотрите одну синюю составляющую, а затем одну красную... и наконец полное цветное изображение.

Эксперимент был весьма убедительным. Однако один студент попросил слова: «Почему вдоль соломенной шляпки идет кайма зеленого цвета?».

И так как все засмеялись, а профессор нахмурил брови, он сразу же раскаялся, что задал нелепый вопрос. Демонстратор взглянул на изображение и повернулся к аудитории.

Вы указали на постоянную проблему воспроизведения цветных изображений. Это то, что называют недостатком наложения или, как чаще говорят, *сходимости*. Вы легко это поймете: мои три кинескопа со своими объективами нацелены на экран так, чтобы их оптические оси сходились вместе в центре этого экрана. Но, если кинескоп, экран которого параллелен экрану, дает изображение строго прямоугольной формы, то у двух других вследствие параллакса изображение получается несколько искаженным — оно имеет трапецеидальную форму. Поэтому мы вынуждены «предварительно искажать» изображения двух крайних кинескопов посредством электрического воздействия на их системы развертки и так отрегулировать эту коррекцию, чтобы во всех точках экрана геометрия проецируемых изображений была строго идентичной.

Он занялся целой батареей маленьких ручек, и присутствующие увидели, как зеленая кайма стала у́же и исчезла совсем, а затем появилась с противоположной стороны!

— Как вы видите, я перекрутил регулятор.

Он вновь занялся регулировкой, и изображение наконец стало безукоризненно четким.

— Обратите внимание на то, что контраст и яркость должны быть одинаковыми на всех трех кинескопах, чтобы можно было получить белый цвет без цветной доминанты. Вы сами понимаете, что если на красном кинескопе контраст или яркость будет выше, чем на других, то изображение получится с красным оттенком. Но необходимо идти еще дальше — на всех кинескопах одинаковыми должны быть и гаммы — без этого условия невозможно правильно воспроизвести нейтральную серую шкалу. Излучаемый кинескопом свет не пропорционален напряжению видеосигнала. Свет определяется по формуле:

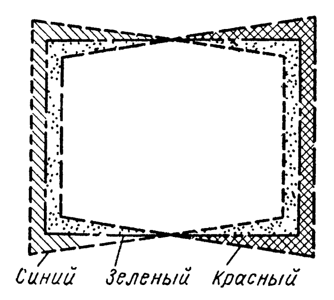


Рис. 29. Неправильная сходимость из-за трапецеидальной деформации изображений.

$$L = U^{\gamma},$$

где L — яркость, U — напряжение сигнала, а γ (греческая буква «гамма») зависит от конструкции электронной пушки и напряжения на электродах. Следовательно, даже при использовании идентичных кинескопов нужно так регулировать напряжение, чтобы все три характеристики свет/напряжение были идентичными.

Экскурсовод включил свет в зале и направился к другой установке; это было вертикальное сооружение, в верхней части которого находилось нечто похожее на иллюминатор. Он взглянул на этот иллюминатор и повернулся к студентам.

— Вместо проецирования на экран можно с помощью системы зеркал совместить три изображения, в результате чего полное изображение будет существовать только в наших глазах. Можно даже обойтись без цветных фильтров перед кинескопами, так как некоторые зеркала, которые называются дихроичными, обладают свойством отражать только один основной цвет и пропускать оба других. Иначе говоря, это избирательные полупрозрачные зеркала. То, которое отражает красные лучи, пропускает синие и зеленые, а отражающее синие лучи пропускает красные и зеленые. Теперь вы по очереди можете подойти и посмотреть в дихроичный монитор.

И пока юноши по одному подходили полюбоваться в конце тоннеля миловидным личиком той же молодой женщины в соломенной шляпке, демонстратор продолжал объяснять:

— В дихроичном мониторе все три кинескопа симметричны относительно оптической оси системы, и, следовательно, вызываемая параллаксом трапецеидальная деформация отсутствует. И тем не менее недостаток схождения

может иметь место, если центровка кадра, амплитуда или линейность развертки всех трех кинескопов не отрегулированы строго одинаково. Следовательно, имеется регулировка совмещения, хотя воздействует она иным образом: необходимо, чтобы геометрия изображения на всех трех кинескопах была абсолютно идентичной.

Все студенты группы посмотрели в дихроичный монитор и попутно вполголоса обсудили соответствующие достоинства гаммы. Не обращая никакого внимания на шушуканье, демонстратор подошел к шкафу еще более внушительных, чем трехцветный проектор или дихроичный монитор, размеров.

— Этот аппарат представляет собой приспособленный для цвета черно-белый проектор «Эйдофор». При проецировании изображения с экрана электроннолучевой трубки мы ограничены светоотдачей люминесцентного слоя. Для получения очень яркого изображения, которое обеспечивало бы требуемое увеличение, приходится работать с очень высокими напряжениями и слой очень быстро «выгорает». Большое преимущество этого аппарата, изобретенного швейцарцем Фишером, заключается в том, что его световая отдача не зависит от люминесцентного слоя и поэтому изображение можно проецировать на очень большой экран. Принцип работы этого аппарата при проецировании черно-белых изображений заключается в следующем.

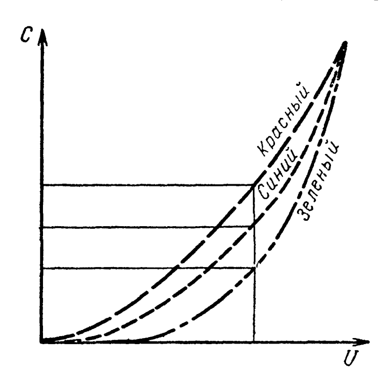


Рис. 30. Характеристики свет/напряжение кинескопов проектора с тремя электроннолучевыми трубками (или трех пушек цветного масочного кинескопа).

Гамма зеленого больше гаммы синего, которая в свою очередь больше гаммы красного. Черный и белый цвета при данном напряжении между нулем и величиной, соответствующей белому, получаются без цветной доминанты, но кинескоп излучает красного света больше, чем синего, и синего больше, чем зеленого. Поэтому серые тона неизбежно страдают от красно-фиолетовой доминанты.

Свет от мощного источника (вольтова дуга или ксеноновая лампа) отражается вогнутым зеркалом на экран. Это зеркало представляет собой тонкую пленку масла; почему сделали такую конструкцию, мы поймем позже. Отраженный свет не достигает экрана, так как на его пути установлена перехватывающая система из непрозрачных решеток.

Если масляная пленка изменит свою форму, то попадающие на зеркало в месте этой деформации световые лучи в большей или меньшей степени отклонятся от первоначальной «траектории» и смогут пройти через систему решеток.

Для изменения формы масляной пленки используют модулированный видеосигналом электронный луч, который «рисует» на зеркале точную копию проецируемого изображения.

Чтобы приспособить «Эйдофор» для передачи цветных изображений, можно использовать или три «Эйдофора» с фильтрами (в этом случае мы опять сталкиваемся с проблемой коррекции трапецеидального искажения для достижения точного совпадения одноцветных изображений) или использовать систему последовательного сложения цветных полукадров, как в системе CBS, где красные, синие и зеленые элементы изображения передаются поочередно со скоростью чередования полукадров В этом случае проблемы сходимости не возникает, но приходится столкнуться со всеми недостатками, присущими системам с последовательной передачей.

Студенты с изумлением любовались этим гигантом телевидения, проецировавшим очень яркое изображение на экран размеров в несколько квадратных метров. Демонстратор направился к «препарированной» громадной электроннолучевой трубке, установленной на подставке с надписью *«Масочная электроннолучевая трубка»*. Рядом с этим макетом стоял действующий телевизор. На его экране красовалась молодая женщина в соломенной

шляпке, но в зале было уже не темно, и изображение казалось значительно бледнее, чем несколько минут тому назад.

— В связи с тем, что не может быть и речи об установке дихроичного монитора, трехтрубочного проектора или «Эйдофора» в современной квартире (смех в зале...), потребовалось найти другое решение. И сейчас вы видите решение, предложенное американской фирмой RCA: поместить все три трубки в одну стеклянную колбу (что решает проблему синхронной развертки) и создать цветное изображение на экране этого единственного кинескопа. Так как на экран попадают не световые, а электронные лучи, то сам

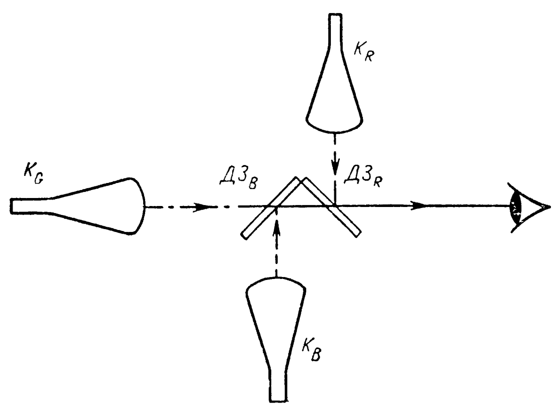


Рис. 31. Дихроичный монитор.
Модулированный «синим» сигналом кинескоп K_B излучает белый свет, а дихроичное зеркало $ДЗ_B$ отражает лишь синюю составляющую этого света. Эта составляющая беспрепятственно проходит через дихроичное зеркало $ДЗ_R$ и достигает глаза. Из белого света, излучаемого кинескопом K_R дихроичным зеркалом $ДЗ_R$, выделяется красная составляющая, которая и направляется к глазу, а сине-зеленая составляющая проходит через зеркало и, следовательно, теряется. Излучение с кинескопа K_G проходит через оба дихроичных зеркала и в результате глаза достигает только зеленая составляющая этого излучения.

собой отпадает вопрос об установке на их пути цветных фильтров. Здесь требуются другие средства: известно некоторое количество химических веществ, которые под воздействием электронов дают свечение определенного цвета. Эти вещества называют *люминофорами*, и вы их знаете, так как экраны ваших осциллографов светятся зеленым или голубым цветом. Можно создать люминофоры, свечение которых соответствует основным цветам.

Но как сделать так, чтобы модулированный видеосигналом *R* электронный луч действительно попадал на вещество, светящееся красным, а не другим цветом? Как обеспечить избирательное возбуждение люминофоров электронами?

Для этого используют явление параллакса; вот тут-то уж поистине справедливо, что несчастье одних служит счастьем для других! Очень близко к экрану на пути электронов устанавливают маску с проделанными в ней отверстиями. Исходящие из трех пушек три электронных луча, проходя через одно отверстие, неизбежно попадают на экран в трех разных точках. Нужно и достаточно, чтобы в этих точках они попали на таблеточки из соответствующих люминофоров.

Эта заключительная часть речи была преисполнена величия и математической строгости. Последовавшая за нею тишина нарушалась лишь гудением блоков питания и потрескиванием больших электроннолучевых трубок. Один из студентов пробормотал в пробивающиеся усы: «надо сделать».

Не ожидая неизбежной реакции аудитории, демонстратор энергично подхватил:

— Да, это нужно сделать! А это не так легко. Потому что помимо несовпадения первичных изображений (ведь все три одноцветных изображения страдают некоторым трапецеидальным искажением), которое приходится коррегировать батареей постоянных магнитов и катушек, изменяющих траекторию электронов, имеется риск возникновения погрешности чистоты, которая

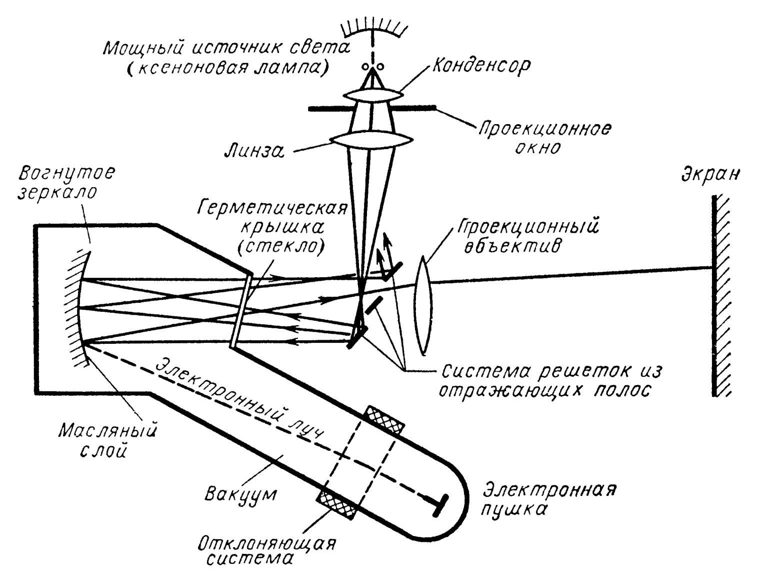


Рис. 32. Схематическое изображение «Эйдофора».

Благодаря модулированному видеосигналом электронному лучу один из световых лучей отклоняется. «Скребок» (на рисунке не показан) после каждого полукадра разглаживает масляный слой и устраняет возникшую в результате модуляции деформацию.

отсутствует в системах с тремя кинескопами. Это происходит, когда электроны заставляют светиться люминофор чужого цвета. Тогда для повышения точности стрельбы нужно повернуть вот это магнитное кольцо.

Он повернул кольцо на соседнем работающем кинескопе, и все увидели, как на изображении неба появилось фиолетовое пятно, а в нижней части изображения — зеленое.

Пока он производил эти эксперименты, профессор добросовестно рассматривал «препарированный» кинескоп; затем он спросил:

— Сколько отверстий в маске?

— Столько же, из скольких точек состоит телевизионное изображение, разлагаемое на 625 строк, или примерно 400 000.

Один из студентов спросил: «А что происходит с электроном, который не попадает в отверстие?»

— Это наиболее типичный случай, — ответил демонстратор. — Прозрачность сетки равна всего лишь 15%. Это означает, что 85% излучаемых электронными пушками электронов не участвует в создании изображения, потому что они не точно направлены в соответствующие отверстия. Вот

почему ток высокого напряжения велик (1 *ма*), а напряжение достигает 25 *кв*, и вы, конечно, понимаете, что для его регулирования требуется мощный каскад.

Ответив таким образом на заданный вопрос, демонстратор взял большую катушку индуктивности, намотанную на плексигласовое кольцо, и включил ее в розетку осветительной сети.

— Теперь через эту катушку протекает сетевой ток; следовательно, вокруг нее существует переменное магнитное поле; вы знаете, что такое поле может изменить направление электронного луча. Это поле очень мало, и его воздействие на геометрию изображения на черно-белом кинескопе едва заметно, но в цветном масочном кинескопе даже небольшого отклонения траектории электронов достаточно для искажения цветов, так как электронный луч, который, например, должен попасть на таблетку люминофора красного цвета, отклонится в сторону и попадет на зеленый или синий участок.

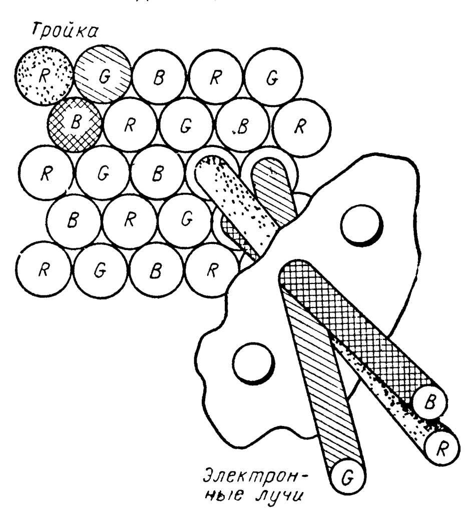


Рис. 33. Схематическое изображение хода электронных лучей в цветной электроннолучевой трубке.

Лучи *R*, *G* и *B* проходят через отверстия в маске и попадают на соответствующие участки люминофора (см. этот рисунок на цветной вклейке).

Демонстратор поднес катушку к экрану, и на нем появились многоцветные силовые линии. Не перемещая катушки, он отключил ее от сети.

— И вот! Стальные части телевизора и, в частности, маска кинескопа намагнитились, и отрегулировать чистоту цвета больше невозможно. Даже земное магнитное поле намагничивает кинескоп, и регулировку чистоты и сходимости можно производить только тогда, когда телевизор находится на своем постоянном месте в комнате в постоянных условиях по отношению к внешнему (земному или искусственному) магнитному полю. Теперь смотрите внимательно, я размагничу кинескоп.

Он вновь включил катушку в сеть и сделал перед экраном несколько «магнитных пассов», постепенно удаляясь от телевизора. Когда он был достаточно далеко от телевизора и когда цветные муаровые полосы исчезли, он повернул плоскость катушки перпендикулярно плоскости экрана и выключил ток. Затем он повернулся к группе и сказал с печальной улыбкой:

— Если вам впоследствии придется размагничивать цветные телевизоры, никогда не делайте этого так, как я... Прежде всего нужно снять с руки часы. В противном случае их также необходимо размагнитить!

Взрывы смеха прерывались замечаниями об антимагнитных часах, но профессор призвал студентов к порядку, и все быстро успокоились. Демонстратор возобновил свои объяснения:

— Производство масочного кинескопа весьма сложно и обходится чрезвычайно дорого. Посмотрите в лупу на маленькие точки красного, синего и зеленого люминофоров. Этих точек миллион двести тысяч, а их нужно с большой точностью разместить по экрану. Работающие совместно с кинескопом устройства — блоки питания, развертки и т. д. потребляют много энергии, и изображение получается не очень ярким. Специалисты придумали и ряд других решений, но полученные результаты пока еще недостаточно хороши для того, чтобы промышленность могла приступить к производству

новой продукции. Я могу сказать здесь несколько слов о кинескопах с одной электронной пушкой.

Лица всех слушателей отразили удивление.

— Совершенно правильно, цветное телевизионное изображение можно получить на кинескопе с одной электронной пушкой, если ее электронный луч модулируется «красным» сигналом, когда электроны попадают на красный люминофор, «зеленым» сигналом — когда электроны попадают на участки зеленого люминофора, и «синим» сигналом, когда электроны попадают на участки синего люминофора. Следовательно, в данном случае речь идет о последовательном воспроизведении (последовательная передача точек) цветного изображения с помощью электронной коммутации. Вы можете видеть здесь различные модели однопушечных цветных кинескопов: хроматрон, кинескоп Лоуренса, трубка с индексацией положения луча (трубка

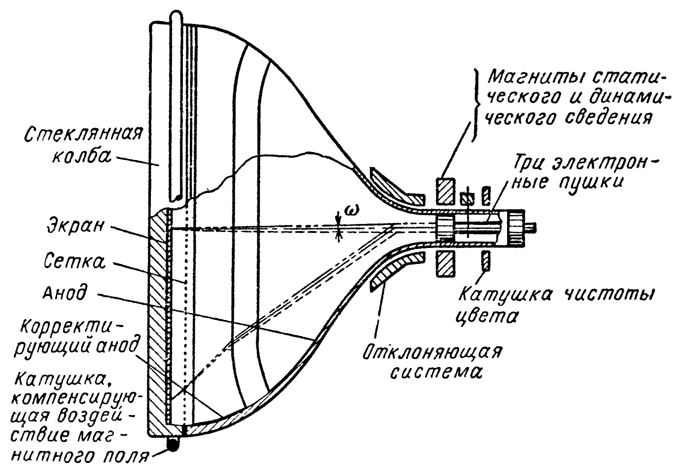


Рис. 34. Разрез (вид сверху) нового цветного кинескопа: полосы люминофора расположены вертикально.

Три соседние полоски (синяя, зеленая и красная) образуют тройную полосу. Сетка представляет собой полотнище из проволочек диаметром 0,1 *мм*, натянутых между верхним и нижним краями экрана.

«Эппл») и т. д. Сейчас мы ограничены требованиями вашей программы и отведенным вашим расписанием временем, и я не могу более подробно рассказать вам об этих трубках. Запомните просто, что один общий недостаток всех этих кинескопов (хотя они основаны на различных принципах) заключается в сложности и ненадежности схем коммутации. что препятствует их практическому использованию.

Тогда профессор сказал: «Все это выглядит очень пессимистично. Вы называете нам не пошедшие в промышленное производство кинескопы, вы демонстрируете нам гигантские установки и показываете нам кинескоп, про который вы сами говорите, что он сложен и дорог в производстве и, кроме того, обладает многочисленными недостатками, хотя, как я полагаю, именно этот кинескоп распространился во всем мире!..»

— Уважаемый профессор, самое лучшее я оставил на закуску. Вы можете не сомневаться, что технические специалисты уже на протяжении ряда лет непрерывно занимаются поисками оптимального решения. И теперь я расскажу вам об устройстве и принципах работы «трехпушечного» кинескопа с цветоотделительной сеткой и с плоским экраном, который представляет собою революцию в области воспроизведения цветных телевизионных изображений Знаете ли вы разницу между камерой-обскурой и фотографическим аппаратом?

— ???

— В камере-обскуре нет объектива и его роль выполняет маленькая дырочка. Создание объектива явилось колоссальным прогрессом, так как позволило значительно эффективнее использовать световой поток: все попадающие в объектив лучи (а площадь объектива намного больше площади

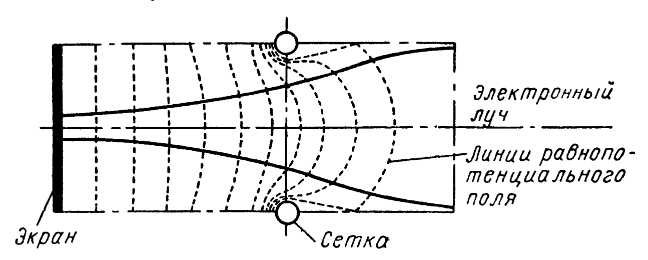


Рис. 35. Принцип послефокусировки и послеускорения, создаваемых «электронной линзой» в пространстве между сеткой и экраном.

маленькой дырочки) фокусируются в плоскости изображения. Применительно к трехцветной электроннолучевой трубке эта идея заключается в замене маленьких отверстий перфорированной маски серией линз... разумеется электронных, так как здесь мы имеем дело не со световыми, а с электронными лучами.

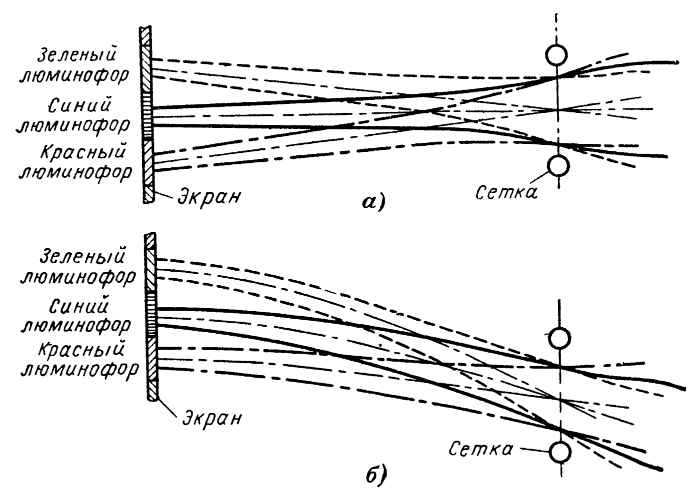


Рис. 36. Каждый электронный луч с любой из трех пушек направляется на соответствующую ему полосу люминофора.

а — показана траектория электронных лучей вдоль оси кинескопа; *б* — у края экрана.

Такими линзами будет служить сетка из тонких параллельных металлических проволочек; на все эти проволочки подается одинаковый потенциал. Возникающее между двумя соседними параллельными проволочками электромагнитное поле фокусирует падающие электроны на полосы красного, зеленого и синего люминофоров на плоском экране, установленном параллельно плоскости сетки на расстоянии 25 *мм* от нее. Полосы люминофора нанесены непосредственно на внутреннюю совершенно плоскую сторону

лицевой стенки кинескопа, благодаря чему телезритель лучше видит изображение.

Отметим попутно, что натяжение проволочек сетки (600 *г*), впаянных между лицевой стенкой и конусом кинескопа (чтобы предотвратить просачивание воздуха в местах прохода проволочек через стекло, на колбу в этом месте наносится эмалевый пояс), позволяет сделать экран строго плоским при приемлемой толщине стекла.

Для обеспечения чистоты цветов на краях экрана пришлось бы ввести дифференциальную коррекцию траектории электронных лучей. Для этого можно было бы изменить потенциал проволочек сетки (в зависимости от их удаления от вертикальной оси экрана), но конструкторы кинескопа предпочли нанести на колбе дополнительный электрод с постоянным потенциалом; форма этого электрода рассчитана так, чтобы его воздействие более продолжительно ощущалось на электронных лучах, траектория которых требует большей коррекции (лучи, идущие к краям экрана).

Само собой понятно, что в отличие от маски цветноотделительная сетка не перехватывает большинства испускаемых пушками электронов и что поэтому изображение на кинескопе нового типа намного ярче, чем на масочных кинескопах. Точно так же и создаваемое сеткой послеускорение позволяет значительно снизить мощность системы развертки и уровень модуляции видеосигнала по сравнению с тем, что требуется для масочного кинескопа, а это создает возможность упростить конструкцию телевизора и сделать его полностью транзисторным.

Однако, как и любое недавнее изобретение (работы начались в 1960 г. под руководством Роже Каена, а с 1966 г. ими руководит Пьер Бонвало), трехпушечный кинескоп с цветноотделительной сеткой и с плоским экраном (который также называют «кинескопом *Compagnie Française de Télévision*» — «Французской телевизионной компании») для окончательной разработки еще требует продолжительных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Специалисты предполагают, что крупносерийное производство новых кинескопов начнется в 1970 г.

Экскурсия закончена. Профессор от имени всей группы тепло поблагодарил молодого демонстратора и попрощался с ним. Вся группа вышла из Международного музея электроннолучевой трубки.



ГЛАВА 7

При всей сухости канцелярского языка приводимый ниже доклад дает в основных чертах представление об устройстве телевизионного центра для цветных передач, который намечено построить в городе Видео (искать его на карте нет смысла). В планируемом центре все предусмотрено, в частности:

Камеры с тремя или четырьмя передающими трубками. Телевизионный кинопроектор. Мониторы и микшеры. Аппаратура для передачи сигналов.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ ЦЕНТР

Город Видео, улица Синхро, д. 2

Господин генеральный инженер!

Я имею честь направить вам на рассмотрение составленный моими сотрудниками и мною проект оборудования нашего первого телевизионного центра для цветных передач.

Ряд поездок, совершенных нами как в Соединенные Штаты, так и Европу для осмотра уже оснащенных для передачи цветных программ телецентров, а также встречи с представителями многочисленных фирм, выпускающих соответствующее оборудование, позволили нам определить основные требования, предъявляемые к подобному центру.

Само собой разумеется, что предлагаемый вам первоначальный проект может изменяться и дополняться.

В надежде, что этот проект привлечет ваше внимание и в ожидании ваших инструкций по этому вопросу, я прошу вас, господин генеральный инженер, принять выражение моего высокого к вам уважения.

Начальник Отдела эксплуатации
(подпись неразборчива)

Цветное телевидение всего лишь усовершенствование классического телевидения, и поэтому совершенно нет необходимости все перевернуть в нашем Национальном телевизионном центре, чтобы его можно было приспособить для передачи цветных программ.

Мы предлагаем постепенно вводить цветные передачи в программы нашей сети телепередатчиков, ведущих передачи черно-белых программ с разложением на 625 строк; принимая во внимание, что современные системы передачи цветных телевизионных изображений отличаются двойной совместимостью, мы можем использовать уже имеющееся у нас оборудование для передачи в эфир цветных сигналов; точно так же и телезрители, пока еще не имеющие цветных телевизоров, смогут принимать названные выше сигналы на свои традиционные телевизоры и получать монохроматическое изображение обычного качества (информация о цветности очень слабо заметна на яркостном изображении).

Прежде всего необходимо оснастить хотя бы одну студию для производства цветных изображений.

I. Камеры

Современные камеры для цветного телевидения оснащаются передающими трубками типа «плумбикон», которые напоминают видикон, но отличаются высокой чувствительностью и малым темновым током. В зависимости от количества используемых передающих трубок телевизионные камеры разделяют на два типа.

а) Камеры с тремя передающими трубками

В этом случае проходящий через объектив световой поток системой зеркал разделяется на три части и образует изображение на фотокатоде каждой из трех трубок. Каждой трубке придается один цветной фильтр:

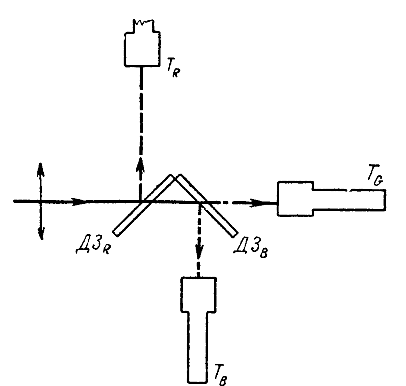


Рис. 37. Цветная телевизионная камера. Из прошедшего через объектив света дихроичное зеркало $ДЗ_R$ выделяет красную составляющую, которая отражается на передающую трубку T_R. Прошедший через это зеркало свет попадает на дихроичное зеркало $ДЗ_B$, которое выделяет синюю составляющую и отражает ее на передающую трубку T_B; остальная часть (зеленая составляющая) проходит через это зеркало и попадает на передающую трубку T_G.

красный, зеленый и синий. Можно также использовать дихроичные зеркала и обойтись без фильтров.

Сама камера имеет примерно такие же размеры, как наши современные черно-белые камеры на четырехдюймовом суперортиконе. Зато аппаратный шкаф более сложен, так как нужно отрегулировать уровень видеосигналов всех трех трубок (по черному, серому и белому) и произвести специальную регулировку наложения первичных изображений или сходимости; эта регулировка заключается в обеспечении для всех трех трубок строго одинаковых разверток (амплитуда, линейность и центровка) для всех трех одноцветных изображений.

Недостаток этих камер заключается в том, что нарушение регулировки сходимости вызывает снижение четкости изображения, что противоречит принципу разделения яркостной и цветностной информации и усложняет регулировку.

б) Камеры с четырьмя передающими трубками

В этих камерах четвертая трубка служит только для анализа яркостного изображения. Следовательно, можно сказать, что такая камера состоит из черно-белой и трехцветной камер.

Регулировка сходимости больше не влияет на четкость изображения, которая определяется яркостным сигналом, и поэтому регулировка становится намного проще. Этот принцип можно сравнить с четырехкрасочной печатью, при которой после последовательного наложения трех одноцветных изображений типограф четвертый раз «прогоняет» отпечаток через машину для печати черным цветом всех мелких деталей изображения; наложенная черная краска маскирует возможные изъяны, говоря типографскими терминами, совмещения контуров рисунка.

II. Телевизионный кинопроектор

Используемая в черно-белом телевидении аппаратура может применяться и для передачи цветных кинофильмов: телекиноустановка с одной камерой (в этом случае понадобятся три или четыре передающие трубки с соответствующими фильтрами вместо одной трубки) или телекинопроектор с разверткой изображения бегущим лучом; в этом случае понадобится утроенная система из фотоэлементов и фотоумножителей.

Оба названные типа аппаратуры используются и при передаче диапозитивов или непрозрачных документов. Большое преимущество аппаратуры второго типа заключается в том, что она делает ненужной регулировку сходимости (совпадения контуров).

III. Центральная аппаратная

Если преобразователи передаваемого изображения в электрические сигналы (передающие трубки) могут использоваться в любой системе цветного телевидения, то оборудование центральной аппаратной обычно определяется принятой системой.

Комплект передающих телевизионных трубок соединяют с *кодирующим устройством.* Это приспособление «уплотняет» первоначальную информацию в *сложный* или, иначе говоря, *полный сигнал,* который в скрытом виде содержит классический черно-белый видеосигнал и высокочастотную поднесущую, модулированную сигналами цветности.

Каждый сложный сигнал постоянно контролируется с помощью *монитора,* который совершенно не похож на те, какими мы пользуемся при передаче черно-белых программ: он оснащен специальным кинескопом, способным воспроизводить цвета, а его видеоканал заменен *декодирующим устройством,* восстанавливающим первоначальные сигналы R, G, B из сложного сигнала Y, $B - Y$, $R - Y$.

Соединение изображений наплывом (затемнение, появление, переход одного изображения в другое) или специальные эффекты (перекрывание кадра шторкой, включение одного изображения в другое по профилю третьего или по какой-либо геометрической фигуре и т. д.) требуют техники, более сложной чем в черно-белом телевидении, но тем не менее уже существуют *микшеры,* которые в комбинации с обычным генератором эффектов позволяют осуществить в цветном телевидении все известные трюки.

С точки зрения магнитной записи существующие системы весьма различны, но имеется по крайней мере одна, которая позволяет записывать цветное изображение обычным магнитофоном для черно-белого телевидения, который уже имеется в нашем телецентре. Сложный сигнал записывается непосредственно и на месте обычного видеосигнала, и никакого дополнительного оборудования приобретать нет надобности.

IV. Необходимая аппаратура

За последние 5 лет в Европе было проведено множество интересных экспериментов, показавших, что передача цветных телевизионных программ на большие расстояния по кабелю и по радиолинейным линиям различных сетей (Евровидение и Интервидение), а также через искусственные спутники не только вполне возможна, но и дает прекрасные результаты.

Принимая во внимание состояние наших кабельных и радиорелейных линий, наших передатчиков и ретрансляторов, Национальный телевизионный центр уже сейчас мог бы приступить к передаче нашей первой программы цветного телевидения — для этого необходимо приобрести лишь минимальный комплект оборудования для цветной студии, а именно: две камеры, один телевизионный кинопроектор, три кодирующих устройства, один микшер и четыре монитора (четвертый монитор предназначен для контроля окончательного сигнала изображения, который подается в антенну)

ГЛАВА 8

Послание Любознайкина имеет целью подготовить Незнайкина к лекции профессора Радиоля. Чтобы легче усвоить содержание предстоящей лекции, нужно знать значение векторов и уметь ими пользоваться — они полезны для сложения периодических явлений и, следовательно, для отображения различных систем модуляции. В письме разбираются следующие вопросы:

Диаграммы Френеля. Рождение синусоиды. Сложение синусоид. Сложение векторов. Метод параллелограмма. Амплитудная модуляция. Подавление несущей. Модуляция сигналами цветности.

ЧТО НУЖНО ЗНАТЬ О ВЕКТОРАХ

Любознайкин пишет Незнайкину

Дорогой мой Незнайкин!

Мне сообщили, что ты намерен присутствовать на лекции моего дяди профессора Радиоля о различных системах цветного телевидения. Превосходная идея, мой друг. Ты, несомненно, знаешь, что именно мой дядя некогда вбил мне в голову основные принципы радиотехники. Я всегда был ему за это признателен, ибо его объяснения отличались удивительной ясностью.

Будут ли они такими же и для тебя? Профессор Радиоль рассчитывает свою лекцию на аудиторию специалистов по радиоэлектронике, обладающих солидными теоретическими знаниями. При изложении системы NTSC, которая лежит в основе всех других систем, он, несомненно, воспользуется диаграммами Френеля, т. е. векторным изображением периодических явлений

Достаточно ли хорошо освоился ты с векторами и с их использованием при изучении переменных токов? Если да, то не теряй времени на дальнейшее чтение настоящего письма. Если же нет, то оно будет тебе полезно тем, что облегчит восприятие лекции, на которой ты собираешься присутствовать.



Рождение синусоиды

Возьмем для примера самое простое периодическое явление, которое ты хорошо знаешь, — переменный ток. Графически он изображается синусоидой. Почему?

Потому, что эта синусоида показывает величину и направление тока для каждого момента. Еще лучше: можно утверждать, что ток изменяется по синусоидальному закону, так

как он наводится в витках, вращающихся в магнитном поле. Однако, как мы сейчас увидим, синусоиду можно нарисовать, приведя в равномерное вращательное движение отрезок прямой и фиксируя его проекцию на плоскости

Синусоиду можно также вычертить путем фиксирования периодических движений, удобнее всего маятника. Для этого достаточно укрепить на нижнем конце маятника кисточку с

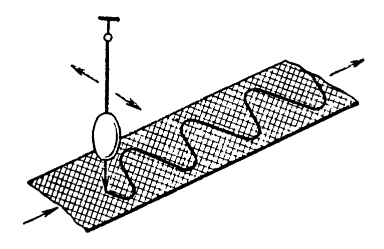


Рис. 38. На движущейся с равномерной скоростью бумажной ленте колеблющийся маятник вычерчивает правильную синусоиду.

чернилами, которая слегка касается бумажной ленты, протягиваемой с равномерной скоростью в направлении, перпендикулярном плоскости колебаний маятника.

Но если ты хочешь аккуратно вычертить синусоиду, то нужно поступить следующим образом: начерти круг и раздели его окружность на некоторое количество (например, на

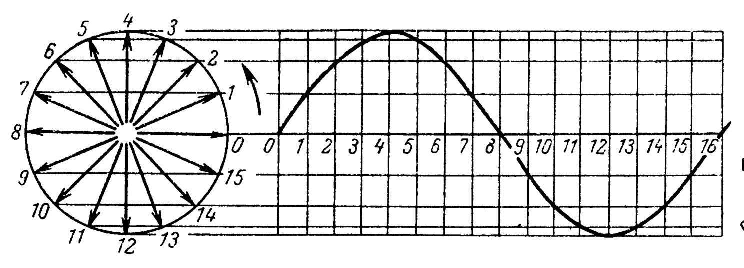


Рис. 39. Графическое построение синусоиды. Для каждого положения радиуса-вектора находят точку на кривой.

16) равных частей. Представь себе, что радиус, направленный вначале горизонтально вправо (назовем это «нулевым положением»), начнет вращаться в «тригонометрическом направлении», т. е. в направлении, противоположном ходу часовой стрелки. Он последовательно пройдет через различные отмеченные нами на окружности точки, образуя с горизонтальной осью углы 22,5°, 45°, 67,5°, 90°, 112,5° и т. д. до 360°.

А теперь нанесем на горизонтальной оси 16 равно удаленных одна от другой точек. На вертикалях, проходящих через эти точки, отметим проекцию вращающегося радиуса. Как это сделать? Просто-напросто от каждой соответствующей точки окружности мы проводим прямые горизонтальные линии, которые пересекают вертикаль, проходящую через соответствующую точку оси. Точка *0* находится на самой оси. Точка *1* и последующие за нею по точку *7* включительно находятся над осью, а точка *8* опять находится на оси. Точки с бо́льшими номерами находятся под осью. Выше всех расположена точка *4*, а ниже всех — точка *12*.

Ты видишь, Незнайкин, что синусоида образуется вращением нашего радиуса точно так же, как синусоидальный ток наводится вращением витка в магнитном поле.

Вот что такое вектор...



Наш радиус характеризуется своими длиной и направлением. Его длина определяет амплитуду изображаемых синусоидой колебаний, а его направление определяет фазу синусоиды. Действительно, наша синусоида могла начаться не из точки *0,* а из любой другой точки окружности, что привело бы к смещению синусоиды вперед или назад.

Радиус, исходящий из центра круга к одной точке окружности и имеющий определенную длину, мы называем «вектором». Так можно назвать вообще любой ориентированный отрезок прямой.

Вектор полностью определен, когда известна его длина (которую называют *модулем*), точка, из которой он исходит, и направление, определяемое углом, который он образует с горизонтальной осью. Этот угол называется *аргументом.*

Складывать синусоиды?...

Представь теперь, Незнайкин, что мы имеем два вектора, исходящие из одной точки и вращающиеся с одной и той же скоростью, но смещенные один относительно другого (их называют «связанными»). Они порождают две синусоиды,

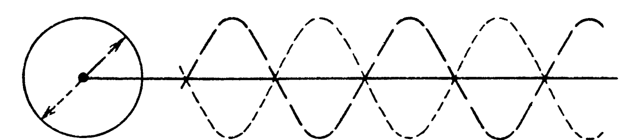
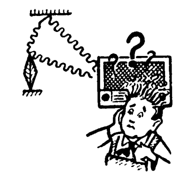


Рис. 40. Сложение двух синусоидальных колебаний с одинаковой амплитудой, но с противоположными фазами.

которые тоже смещены относительно друг друга или, как говорят, «сдвинуты по фазе».

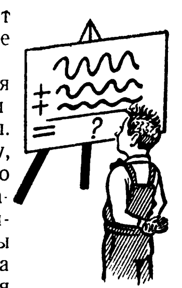
Приступим к сложению этих синусоид, чтобы определить, какой результат получится в случае наложения в одной схеме двух колебаний, изображенных этими синусоидами.

Для начала возьмем наиболее простой случай, когда два вектора имеют одинаковую длину, но направлены в разные стороны, т. е. сдвинуты на 180°. Мы получим две синусоиды с одинаковой амплитудой и периодом, но со смещением на 180°. Во всех точках мгновенные значения амплитуды равны, но направлены в противоположные стороны. Это означает, что полученная сумма повсюду равна нулю.



Именно это происходит, когда в антенну твоего приемника одновременно попадают прямая волна от передатчика и волна, отраженная верхними ионизированными слоями атмосферы. Если же из-за более длинного пути вторая волна отстает от первой на полпериода (сдвиг по фазе на 180°) и если амплитуды равны, то наблюдается полное замирание: оба колебания взаимно уничтожаются и мы ничего не слышим.

Если же амплитуды не идентичны, то замирание будет частичным и передача, хотя и заглушенная, будет все же слышна.



По счастливому совпадению обе волны могут оказаться в фазе. Тогда эти два колебания будут взаимно усиливаться Ты можешь легко сложить две соответствующие синусоиды.

Но становится довольно трудно воспринимать передачу, когда две синусоиды смещены по фазе и в довершение того имеют разные амплитуды. А ведь это наиболее распространенный случай И тогда радиослушатель вынужден заниматься скучной работой по сложению (когда амплитуды имеют одинаковую направленность) или по вычитанию (когда они направлены в противоположные стороны) амплитуд для разных точек

Лучше складывать векторы

Хочешь ли ты, чтобы я открыл тебе секрет бесконечно более простого способа, который освободит тебя от трудоемких вычислений и позволит найти характеристики результирующего колебания, т. е. определить его фазу и амплитуду? Ну ладно, этот секрет — *векторное сложение.* Название тебе ничего не говорит? Тогда прочитай написанное ниже.



Прежде всего пойми, что вместо синусоиды можно начертить просто образующий ее вектор. Его длина дает нам

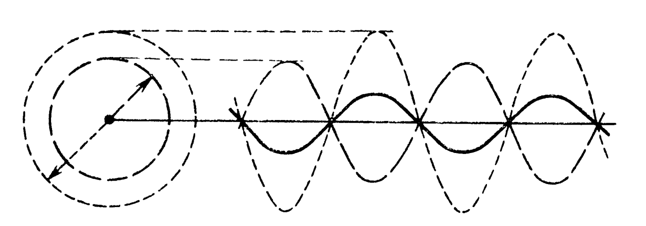
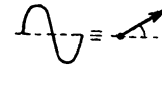
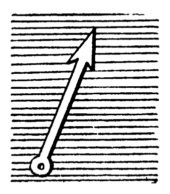


Рис. 41. Изображенные здесь колебания также находятся в противофазе, но они имеют разные амплитуды. Слагаемые синусоиды показаны пунктирными линиями, а результирующая — сплошной линией.

информацию об амплитуде колебаний, а его направление — об их фазе.



Впрочем, ты можешь представить себе, что вектор вращается в темной комнате и что на каждом обороте короткая вспышка света позволяет нам его увидеть Вспышки производятся с той же частотой, с которой вращается вектор, тогда при любой скорости движения он покажется нам неподвижным. Это принцип стробоскопа.



Заменив синусоиды векторами, ты, несомненно, заметишь тот факт, что векторы остаются неподвижными один относительно другого лишь до тех пор, пока частота колебаний остается идентичной.

Ты хочешь сложить две синусоиды? Просуммируй их векторы. Как это сделать? Очень просто, помести второй вектор так, чтобы его начало совпало с концом первого. Сумма этих векторов представлена третьим вектором, у которого исходная точка общая с первым, а конец совпадает с концом второго.

Проверь сказанное мною на рассмотренном нами примере сложения двух синусоид. Два противоположно направленных вектора идентичной длины взаимно уничтожаются Если длины этих векторов различны, то их сумма представляет собой разность их длин, а ее ориентация соответствует

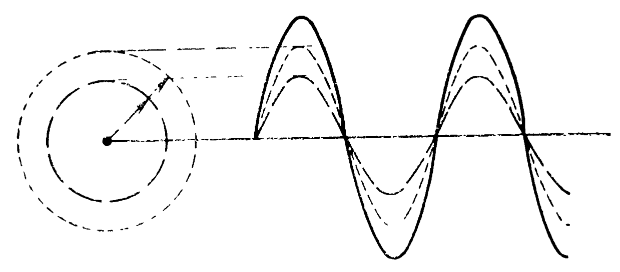


Рис. 42. Сложение двух колебаний с одинаковой фазой.

направлению более длинного вектора. Когда же сдвиг фазы отличается от 180°, векторное сложение позволяет определить амплитуду и фазу результирующего колебания.

Я добавлю, что вместо того, чтобы помещать начало одного вектора к концу другого, можно также построить па-

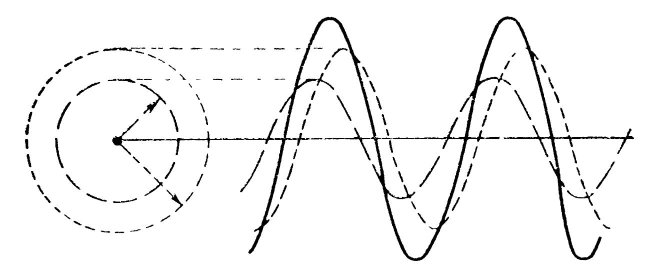


Рис. 43. Более сложный случай: сложение двух сдвинутых по фазе колебаний.

раллелограммы (Ты, вероятно, изучал это в курсе механики.) Оба вектора размещают так, чтобы их исходные точки совпали Через конец каждого вектора проводят прямую, параллельную другому вектору, и таким образом получают

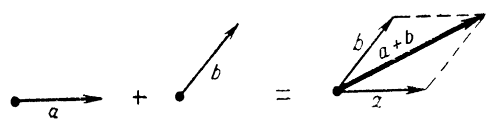
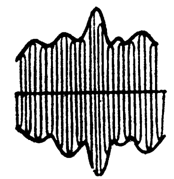


Рис. 44. Для сложения двух векторов их размещают так, чтобы конец одного совпал с началом другого.



параллелограмм; его диагональ, проведенная через общее начало векторов точно соответствует сумме этих векторов.

Ты видишь, насколько это изобретенное французским физиком Френелем векторное отображение упрощает изучение

и анализ схем переменного тока Зная, что индуктивность вызывает сдвиг фазы напряжения по отношению к току назад на 90° и что емкость, наоборот, сдвигает ток по отношению к напряжению вперед на 90°, можно легко вычертить диа-

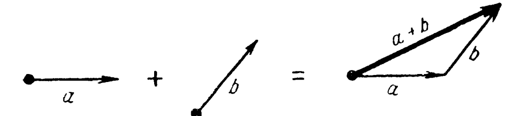


Рис. 45. Сложение векторов с помощью классического метода параллелограмма.

грамму Френеля для схемы, состоящей из катушек индуктивности, конденсаторов и резисторов (последние, как известно, не сдвигают фазу тока по отношению к напряжению).

Амплитудная модуляция

Дело существенно усложняется, когда складываются различные колебания, имеющие неодинаковую частоту. Примером в этом отношении могут служить ВЧ колебания, модулированные по амплитуде колебаниями низкой частоты. Известно, что в этом случае образуются две боковые частоты модуляции: низшая *I* и высшая *S*. Соответствующие векторы вращаются относительно вектора *P*. Частота *S* выше частоты *P* и, следовательно, ее вектор вращается быстрее вектора *P*.

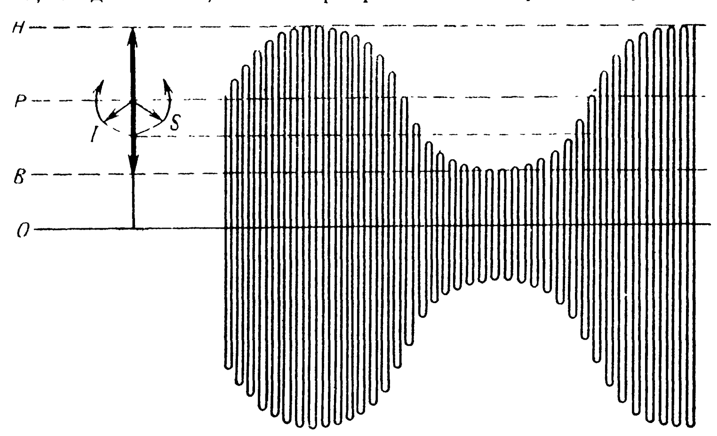
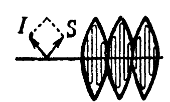


Рис. 46. При модулировании несущей *P* по амплитуде появляются две боковые полосы, изображенные двумя расположенными симметрично, но вращающимися в противоположных направлениях векторами *I* и *S*. Сложение (всех трех векторов) дает один результирующий вектор, длина которого изменяется от *OB* до *OH*.

Тогда при стробоскопическом освещении вектор *P* кажется неподвижным, а вектор *S* вращающимся в направлении, обратном движению часовой стрелки. В то же время вектор более низкой частоты *I* вращается в противоположном направлении. Сумма всех трех векторов всегда ориентирована в том же



направлении, что и P, так как I и S всегда расположены симметрично по отношению к P. Следовательно, никакого изменения фазы не происходит. Зато амплитуда изменяется от максимума $P + 2S$ до минимума $P - 2S$.

На практике имеется возможность передавать лишь обе боковые частоты, подавляя саму несущую. Конечно, для де-

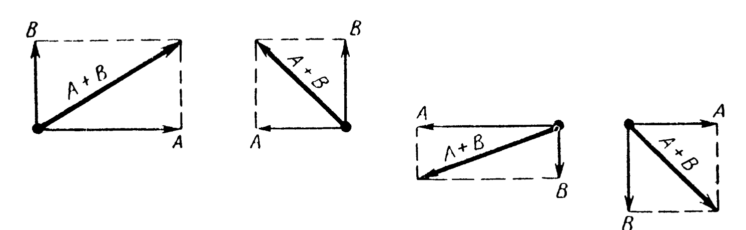


Рис. 47. В зависимости от направленности векторов A и B их сумма может занимать разные положения.

модуляции сигнала при приеме в этом случае придется вновь генерировать несущую в приемнике, в котором для этой цели имеется местный гетеродин, настроенный на частоту несущей.

Как удается подавить несущую? Этого можно достичь, подавая в противофазе другое колебание с такой же амплитудой. Однако для этой цели предпочитают использовать балансный модулятор, пропускающий лишь те сигналы, которые выводят его из состояния баланса (равновесия), т. е. боковые полосы модуляции.

Хитрость системы NTSC

А теперь представь себе, мой дорогой друг, нечто, что покажется тебе очень сложным (чтобы не сказать неправдоподобным). Предположи, что ты имеешь два синусоидальных колебания, каждое из которых модулируется по амплитуде переменным сигналом. После всего того, что мы с тобой изучили, я не скрою от тебя, что здесь речь идет о двух сигналах цветности, красном и синем, или, чтобы быть ближе к истине, о двух цветоразностных сигналах $(R - Y)$ и $(B - Y)$.

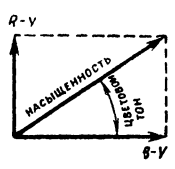
Как передать модулированные таким образом наши две синусоиды, если — не забывай этого! — для доставки информации о цветности мы располагаем всего лишь одной поднесущей?

Примененная в американской системе NTSC хитрость заключается в сдвиге этих двух синусоид на 90° перед их сложением. Что это дает в результате?

Благодаря векторам мы легко можем ответить на этот вопрос. Одно из этих колебаний можно представить горизонтальным вектором; тогда другое колебание будет представлено вертикальным вектором, так как сдвиг по фазе составляет 90°.

Эти векторы могут иметь положительные или отрицательные значения, так как разности $(R - Y)$ и $(B - Y)$ зависят от цветового тона анализируемых точек изображения. Следовательно, горизонтальный вектор может быть направ-

лен как вправо, так и влево. Точно так же и вертикальный вектор может быть направлен вверх или вниз.



Мгновенное значение каждого вектора зависит от насыщенности соответствующего цветового тона.

Что же мы должны делать с так модулированными и сдвинутыми по фазе на 90° нашими двумя синусоидами? Мы их просто-напросто сложим В результате мы получим вектор, который в каждый момент своим направлением (на ученом языке — своим аргументом) будет представлять *цветовой тон* анализируемого элемента изображения, а его длина (лучше сказать, его модуль) будет характеризовать *насыщенность* названного элемента

Не правда ли, это в высшей степени ловко придумано?.. Но я вынужден констатировать, что увлекшись темой, я несколько лишил новизны то, что ты услышишь из уст моего дяди — профессора.

Прими выражения сердечной дружбы
от твоего Любознайкина



ГЛАВА 9

Чтение предшествующих глав подготовило читателя к пониманию лекции, в которой излагаются принципы и рассматриваются преимущества и недостатки трех основных совместимых систем цветного телевидения: NTSC, PAL и SECAM. Профессор Радиоль разбирает следующие темы:

Квадратурная модуляция в системе NTSC. Выбор частоты поднесущей. Декодирование. Дифференциальное усиление. Дифференциальная фаза. Магнитная запись. Перекрестные помехи цветовых составляющих. Принципы системы PAL. Декодирование в стандартной системе PAL и в упрощенной системе PAL. Характеристики системы PAL. Принципы системы SECAM. Кодирование и декодирование. Характеристики системы SECAM.

РАЗЛИЧНЫЕ СОВМЕСТИМЫЕ СИСТЕМЫ

(Полный текст лекции, прочитанной профессором Радиолем в Высшей школе телевизионной техники в конференц-зале Национального телевизионного центра в городе Видео)

Господин Генеральный директор,
Господа главные инженеры,
Дорогие бывшие студенты,
Господа!

Цветное телевидение, о котором в настоящее время столько говорят, основано на принципах, продиктованных некоторыми техническими и экономическими соображениями. В наши дни существует несколько обладающих различными свойствами способов передачи цветных телевизионных изображений, которые будут рассмотрены в сегодняшней лекции, но во всех этих системах мы неизбежно обнаружим общую основу, предложенную французским инженером Жоржем Валенси: в частности во всех совместимых системах используется широкая полоса для передачи сигнала *яркости*, к которому прибавляют высокочастотную *поднесущую*, модулированную сигналами *цветности*; последние представляют собой *цветоразностные* сигналы, т. е. исчезающие, когда цвета не передаются.

Все различия между существующими совместимыми системами цветного телевидения заключаются в типе модуляции поднесущей сигналами цветности.

Для каждой системы мы рассмотрим структуру *кодирующего устройства* (что заставит нас ознакомиться с нормами соответствующего телевизионного сигнала), структуру *декодирующего устройства* (т. е. особенности приемника) и технические характеристики системы, обращая при этом особое внимание на качество передачи изображения.

Мы ограничимся анализом трех используемых в настоящее время систем, рассматривая их в хронологическом порядке изобретения: система NTSC (сокращение от *National Television System Committee* — Национальный комитет по телевизионной системе), разработанная группой американских инженеров, в основном из фирм *Hazeltine* и RCA, — эта система используется в Соединенных Штатах, Японии и Канаде; SECAM (сокращение от

SEquence de Couleurs Avec Mémoire — последовательность цветов с запоминающим устройством) — система разработана фирмой *Compagnie Française de Télévision* на основе оригинальной идеи, предложенной инженером Анри де Франсом в 1956 г.; и, наконец, система PAL (сокращение от *Phase Alternation Line* — строка с переменной фазой), представляющая собой вариант системы NTSC. Эта система разработана в Западной Германии в лаборатории фирмы *Telefunken* в Ганновере бригадой специалистов под руководством Вальтера Бруха; теперь она также принята во многих странах. Хотя последняя система появилась совсем недавно (в 1963 г.), мы рассмотрим ее сразу же после системы NTSC, к которой она очень близка.

I. СИСТЕМА NTSC

1. Кодирование

Принцип передачи цветов в системе NTSC весьма наглядно виден на графике цветности, который можно сравнить с диаграммой Френеля. Это означает, что некий вектор, исходящий из начала координат, представляет

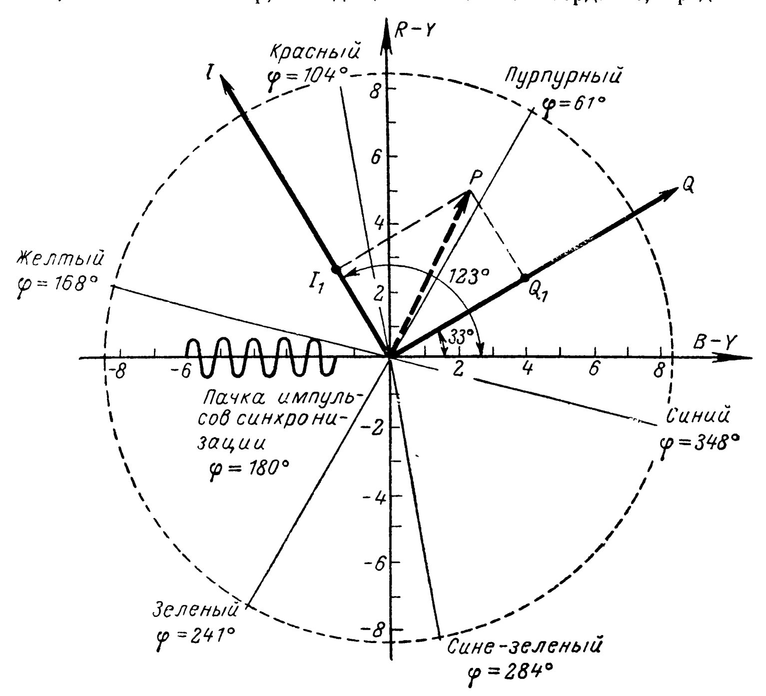


Рис. 48. График цветности, на котором наглядно показаны: оси модуляции *I* и *Q* системы NTSC; пачка импульсов фазовой синхронизации; точки, характеризующие основные и дополнительные цвета; показано также, как найти для точки *P* амплитуду и фазу соответствующей ей синусоиды (см. этот рисунок на цветной вклейке).

собой синусоиду, амплитуда которой пропорциональна его модулю (или длине), а фаза равна аргументу, или алгебраическому углу, образованному вектором и горизонтальной осью.

Следовательно, можно приближенно сказать, что в системе NTSC фаза выражает *цветовой тон* передаваемого цвета и что амплитуда представляет

насыщенность этого цвета [1]. В частности, поднесущая исчезает при передаче ахроматического (белого, серого или черного) участка изображения.

Используемый для осуществления этой двойной модуляции метод тоже становится понятным при рассмотрении графика цветности.

Синусоидальная волна, частоту которой мы сейчас определим, модулируется по амплитуде с подавлением несущей сигналом $(B-Y)$. Следовательно, на диаграмме Френеля она совпадает с горизонтальной осью графика цветности. Другая синусоидальная волна такой же частоты, но сдвинутая по фазе на $+90^\circ$ по отношению к первой, модулируется по амплитуде с подавлением несущей сигналом $(R-Y)$. На графике цветности ее изображение совпадает с вертикальной осью. Сложение этих двух модулированных волн дает нам искомую поднесущую Благодаря подавлению несущей монохроматическое изображение при условии $R-Y=B-Y=0$

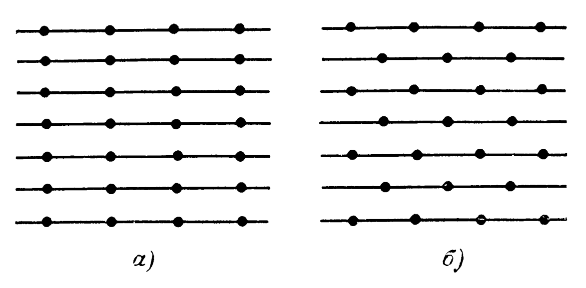


Рис. 49. Прием цветной передачи на черно-белый телевизор.
а — точки на экране от поднесущей, частота которой равна произведению строчной частоты на целое число; *б* — расположенные на экране «в шахматном порядке» точки от поднесущей, частота которой равна произведению половины строчной частоты на целое нечетное число.

никогда не содержит поднесущей; этого не могло бы быть, если бы пользовались обычной амплитудной модуляцией. Следовательно, подавление несущей обеспечивает правильную передачу шкалы серого без цветной доминанты и снижает видность поднесущей в монохроматических совместимых изображениях. Такой тип модуляции называется *квадратурной модуляцией;* происхождение этого названия вполне понятно.

На самом же деле в кодирующем устройстве системы NTSC, используются не непосредственно сигналы $(R-Y)$ и $(B-Y)$, а две линейные комбинации:

$$I = 0{,}877\,(R-Y)\cos 33^\circ - 0{,}493\,(B-Y)\cos 57^\circ;$$

$$Q = 0{,}877\,(R-Y)\cos 57^\circ + 0{,}493\,(B-Y)\cos 33^\circ.$$

На графике цветности эти комбинации изображаются двумя взаимно перпендикулярными осями I и Q (I от английского *In phase* — в фазе; Q — от английского *Quadrature* — квадратура, т. е. со сдвигом на 90°); эти комбинации вычитаются из предыдущих вращением на $+33^\circ$ и изменением масштаба. На графике цветности ось I проходит от оранжевого цвета до сине-зеленого, т. е. через такие цвета, к которым глаз наиболее чувствителен. Через несколько минут мы увидим, какую пользу извлекает система NTSC из изменения разрешающей способности глаза в зависимости от цветового тона. Но прежде нам предстоит установить частоту поднесущей. Она, очевидно, должна располагаться в верхней части спектра видеосигнала, где энергия составляющих сигнала яркости статистически мала, чтобы свести к минимуму взаимовоздействие информаций яркости и цветности, которые

[1] См. теоремы III и IV в гл. 4.

должны оставаться независимыми Следовательно, на изображении, получаемом на экране черно-белого телевизора при приеме цветной передачи, должны появиться *пунктирные линии,* которые будут тем более заметны, чем выше будет насыщенность передаваемых цветов (потому что повышение насыщенности вызывает увеличение амплитуды поднесущей). Если частота поднесущей произвольна, то линии непрерывно перемещающихся точек создают на экране очень неприятные *муаровые полосы.*

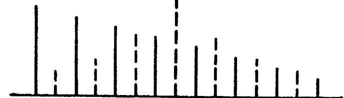


Рис. 50. Спектральные линии сигнала яркости «переплетены» со спектральными линиями поднесущей.

Следовательно, первое условие заключается в достижении неподвижности мешающего рисунка, для чего соотношение поднесущей и строчной частот должно выражаться рациональным числом (числом, которое можно представить в виде дроби, у которой и знаменатель, и числитель целые числа). Если соотношение выражено целым числом, то точки будут расположены в виде вертикальных линий, что создает на экране весьма заметную сетку. Наилучшее решение заключается в размещении этих точек на экране под углом 45° друг к другу, т. е в шахматном порядке, как на типографском растре. В телевидении это достигается за счет регулировки частот соседних каналов: частота поднесущей $f_{под}$ выбирается равной половине строчной частоты $f_{стр}$, умноженной на нечетное число:

$$f_{под} = (2n + 1)\frac{f_{стр}}{2}$$

(где n — целое число).

В американском телевизионном стандарте (525 строк и 30 полных кадров в секунду) $f_{стр} = 15\,750$ *гц*. Если принять $n = 227$, то получим частоту поднесущей $f_{под} = 3{,}58$ *Мгц*; именно эта частота принята в системе NTSC Она обладает еще одним преимуществом.

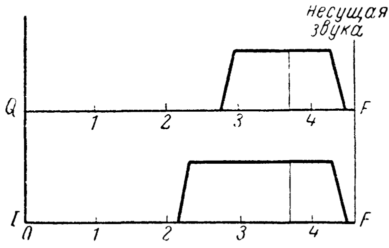


Рис. 51. Спектры поднесущих, модулированных сигналами Q и I.

Как известно, частотный спектр одного телевизионного кадра неравномерен: энергия концентрируется вдоль линий, проходящих через $f_{стр}$, $2f_{стр}$, $3f_{стр}$ и т. д.; $f_{стр}$, как всегда, обозначает строчную частоту. Следовательно, поднесущая располагается точно между двумя такими линиями (227-й и 228-й), а ее собственные боковые линии вклиниваются между линиями сигнала яркости. Это обеспечивает хорошую независимость обеих информаций во время передачи Действительно, яркостная составляющая с близкой к поднесущей частотой могла бы демодулироваться декодирующим устройством как если бы это была составляющая цветности. Эти искажения, вызываемые прохождением составляющих яркостного сигнала в канал цветности, в литературе называются «перекрестными искажениями цвета», а «переплетение» спектров яркости и цветности в одном сложном сигнале снижает этот недостаток

Теперь вернемся к обеим синусоидам, модулированным по амплитуде сигналами I и Q с подавлением несущей Перед сложением для образования одной поднесущей спектры этих обеих модулированных синусоид тщательно фильтруют. На высших частотах вблизи несущей звука (которая в американском стандарте отстоит всего лишь на 4,5 *Мгц* от главной несущей) необходимо как следует ослабить верхние боковые полосы. Поэтому оставляют лишь одну боковую полосу шириной 0,6 *Мгц,* взятую по уровню — 6 *дб.*

Сигнал I, который, как мы сказали, должен передавать более мелкие, чем сигнал Q, детали, должен иметь более широкий спектр. И если сигнал Q

передается с двумя боковыми полосами шириной 0,6 *Мгц*, то сигнал *I* имеет нижнюю боковую полосу шириной 1,3 *Мгц* (измеряемую также по уровню —6 *дб*). Согласно общей теории цепей, сигнал *Q*, передаваемый с более узкой полосой пропускания (и, следовательно, контуром с меньшим затуханием) получает бо́льшую, чем сигнал *I*, задержку. Чтобы согласовать фазы сигналов перед их сложением, достаточно замедлить (с помощью линии задержки) приход сигнала *I* на разницу времени их прохождения

При изучении характеристик системы NTSC мы увидим, что такая асимметрия боковых полос обычно вызывает искажение, известное под названием *квадратурного дефекта*, и характеризуется *взаимными помехами* между сигналами цветности, что можно сравнивать с перекрестными помехами на звуковых частотах; в этом же конкретном случае асимметрия устраняется в самом приемнике, и мы увидим, как это осуществляется.

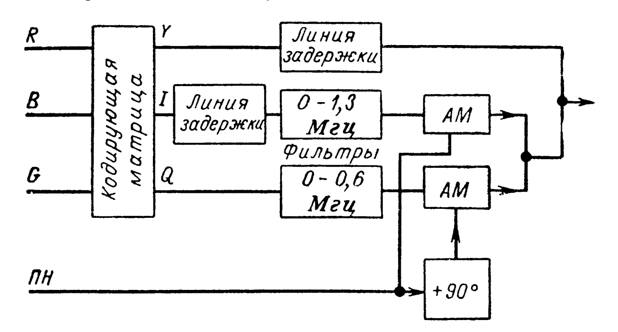


Рис. 52. Упрощенная блок-схема кодирующего устройства системы NTSC.

Теперь наши синусоиды накладываются одна на другую и формируют поднесущую. К последней следует подмешать сигнал, обозначающий начало фаз. Как мы уже отмечали, модуляция по амплитуде производится с *подавлением* несущей. Поэтому для демодуляции передаваемых боковых полос необходимо в приемнике *восстановить* несущую, так как амплитудная модуляция осложняется фазовой модуляцией, приемнику необходимо также дать информацию о начале фаз. Для этого было решено во время обратного хода по строкам на уровне черного (между импульсом синхронизации и началом строки) передавать пакет из восьми периодов поднесущей, дающих информацию о фазе $-(B-Y)$ В английской литературе этот сигнал идентификации фазы называется «вспышкой».

Перед тем как модулированная поднесущая накладывается на яркостный сигнал для получения полного телевизионного сигнала, следует опять уравнять время прохождения сигналов Для этого достаточно создать для сигнала *Y* искусственную задержку (с помощью линии задержки), равную разнице во времени прохождения сигналов *Q* и *Y*. Таким образом на выходе кодирующего устройства получают три в высшей степени синхронные информации.

2. Декодирование

В приемнике полосовой фильтр выделяет поднесущую из сигнала яркости. Пакеты сигналов для опознавания фазы поднесущей выделяются и используются для синхронизации восстановленной несущей, которая необходима для демодуляции

Для этой цели используют генератор, стабилизированный кварцем, фаза которого с помощью кольцевого модулятора, собранного по схеме фазового дискриминатора, сравнивается с фазой сигналов синхронизации. Соответ-

ствующим образом отфильтрованный и усиленный сигнал ошибки используется для управления каскадом с реактивным сопротивлением в цепи обратной связи, чтобы согласовать фазу генератора с фазой сигналов синхронизации.

Таким образом, восстановленная несущая должна присутствовать с двумя различными фазами, отличающимися одна от другой на 90° (например, на первичной и вторичной обмотках трансформатора), а синхронная демодуляция поднесущей этими двумя волнами восстанавливает сигналы I и Q. Фильтры нижних частот с полосой пропускания соответственно 1,3 и

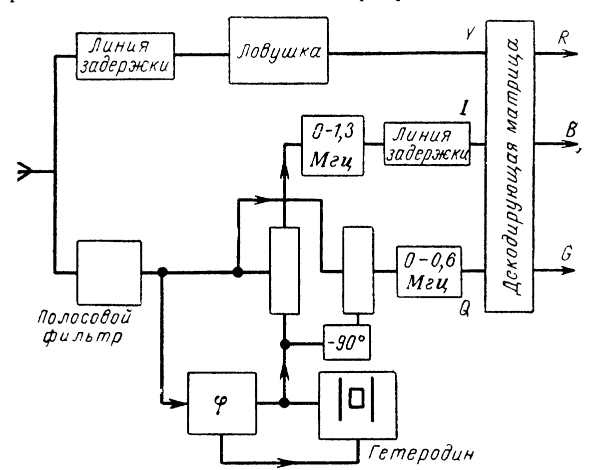


Рис. 53. Упрощенная блок-схема декодирующего устройства системы NTSC.

0,6 *Мгц* пропускают от сигналов I и Q лишь нужную часть, после этого время прохождения обоих сигналов уравнивается с помощью линии задержки в канале I. Матрица[1] производит следующие операции, которые позволяют получить все три первоначальные составляющие цветности:

$$R - Y = 0{,}96I + 0{,}62Q;$$
$$B - Y = -1{,}1I + 1{,}7Q;$$
$$G - Y = -0{,}28I - 0{,}64Q.$$

Сигнал Y освобождается от поднесущей режекторным фильтром, и линия задержки совмещает его во времени с сигналами I и Q. Теперь для получения трех первичных цветовых сигналов достаточно произвести в матрицах, состоящих из резисторов, следующие операции:

$$R = (R - Y) + Y;$$
$$B = (B - Y) + Y;$$
$$G = (G - Y) + Y.$$

3. Технические характеристики системы

Система NTSC может служить монументом, олицетворяющим находчивость и изобретательность. В 1953 г., когда были опубликованы первые описания системы, технические специалисты всего мира признали ее выдаю-

[1] Напомним, что этим термином обозначают совокупность схем, служащих для линейного смешивания нескольких электрических сигналов, иначе говоря, для сложения или вычитания этих сигналов.

щимся достижением. К несчастью, в результате спешки, которая, кажется, была вызвана лишь конъюнктурными требованиями рынка, этой системе не дали достаточно времени, чтобы вызреть в лаборатории и пройти фундаментальные испытания до окончательного утверждения в качестве стандарта.

В результате этого оборудование для передачи сигналов по кабелю, передатчики, магнитные записывающие устройства и другая видеоаппаратура, а также и телевизоры имеют в верхней части спектра некоторое количество фазовых, а также и амплитудных искажений, которыми, несомненно, можно без ущерба для качества пренебречь в монохроматическом телевидении, но которые роковым образом сказываются на передаче цветов по системе NTSC. Рассмотрим очень кратко эти искажения.

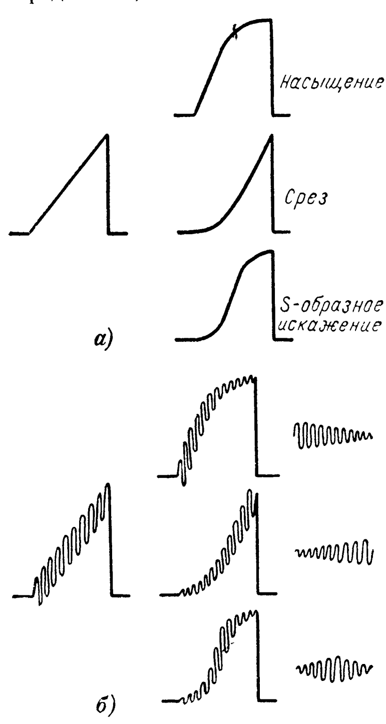


Рис. 54. Искажения сигнала пилообразной формы.

а — вследствие недостаточной линейности мощного усилителя пилообразный сигнал может претерпеть различные искажения: насыщение, срез, S-образное искажение; *б* — этот же сигнал, модулированный синусоидальным напряжением, претерпевает такие же искажения. В результате изменяется амплитуда синусоиды.

а) Дифференциальное усиление

Мощный усилитель неизбежно обладает некоторой нелинейностью По своей природе нелинейность может быть трех различных видов: искажение в результате насыщения, искажение вследствие среза и S-образное искажение; следовательно, поданный на вход усилителя пилообразный сигнал правильной формы получится на выходе искаженным.

Такой тип искажений не порождает особых неприятностей в черно-белом телевидении; он вносит некоторую ошибку градации тона, но не больше. Само собой разумеется, что при передаче цветного телевизионного сигнала по системе NTSC это приведет к нежелательному изменению амплитуды поднесущей. Предположим, например, что синусоида малой, но постоянной амплитуды наложена на названный выше пилообразный сигнал; на выходе усилителя амплитуда этой поднесущей перестанет быть постоянной, а будет зависеть от мгновенного значения уровня яркостного сигнала

Это явление, когда коэффициент усиления поднесущей является функцией мгновенного значения яркости, известно под названием дифференциального усиления, как мы помним, амплитуда поднесущей передает информацию о насыщенности цветов, следовательно неизбежная нелинейность вызывает *искажение насыщенности*

б) Дифференциальная фаза

Входные и выходные реактивные сопротивления активных элементов (ламп или транзисторов), как известно, несколько изменяются в зависимости от места рабочей точки на динамической характеристике. Следовательно, возникает некоторый паразитный сдвиг фазы, определяемый местом нахождения рабочей точки.

Если воздействие этого сдвига фазы на яркостный сигнал ничтожно мало, то на графике цветности он смещает точки, символизирующие цвета, на различные углы в зависимости от соответствующего значения яркостного сигнала, а следовательно, вызывает искажение в воспроизведении цветовых тонов.

Это явление возникает во всех активных элементах, но оно может осложниться другим явлением. В аппаратуре, где для передачи видеосигналов используется частотная модуляция (радиорелейные линии, спутники,

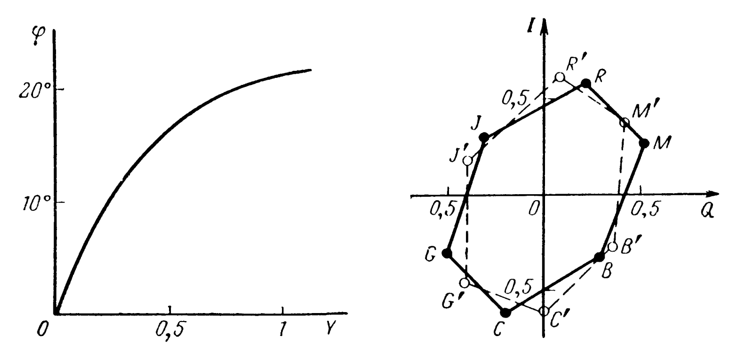


Рис. 55. Воздействие дифференциальной фазы на телевизионный сигнал системы NTSC.

магнитофоны для записи изображения), модулированная несущая фильтруется полосовыми схемами, фазо-частотная характеристика которых не может быть линейной (так как имеются приграничные частоты). Следовательно, после демодуляции появляется непостоянный сдвиг фазы, который зависит от мгновенного значения частоты несущей, т. е. от яркостного сигнала.

В заключение можно сказать, что в системе NTSC каждому нелинейному искажению соответствует искажение цветового тона (фазы) или насыщенности (амплитуды) или же оба вида искажений. Опыт показал, что в системе NTSC отклонение фазы порядка $\pm 5°$ уже заметно для глаза.

в) Магнитная запись

При воспроизведении записанной на магнитной ленте телевизионной программы относительная точность воспроизведения фазы φ, считываемой видеомагнитофоном поднесущей, равна относительной точности выдерживания скорости V протяжки ленты:

$$\frac{\Delta\varphi}{\varphi} = \frac{\Delta V}{V},$$

где $\Delta\varphi$ и ΔV обозначают изменения фазы и скорости. Если осуществлять синхронизацию видеомагнитофона в конце каждой строки, допуская, что отклонение скорости остается постоянным, то фаза поднесущей в конце каждой строки (точно перед установкой синхронизации) будет иметь следующее отклонение:

$$\Delta\varphi = \varphi_{\text{макс}} \frac{\Delta V}{V},$$

где $\varphi_{\text{макс}} = 227{,}5 \cdot 360° = 163\,800°$.

При нормальном относительном уходе скорости $\Delta V/V = 0{,}3\%$ $\Delta\varphi = 491°24'$, т. е. за время прохождения одной строки график цветности совершил вращение на целый круг и еще третью часть (!) и, следовательно, цветовой тон непрерывно искажается в направлении слева направо.

Студийные видеомагнитофоны обычно имеют по четыре вращающиеся головки, каждая из которых записывает или воспроизводит два десятка строк. Само собой разумеется, что сложные передаточные функции этих четырех головок, т. е. их фазовые и амплитудные характеристики не могут быть идентичными. Следовательно, коммутация сигнала с одной головки на другую вызывает резкое изменение фазы и амплитуды, и кварц приемника из-за перегрузки не сможет их скомпенсировать. Поэтому на цветном изображении зритель заметит появление горизонтальных полос различных цветовых тонов и насыщенности

Третье явление возникает при воспроизведении записанного на магнитной ленте телевизионного сигнала системы NTSC. Известно, что видеомагнитофоны работают с частотной модуляцией и что передача производится с сокращенной нижней полосой. Синусоидальному сигналу в видеообласти (например, поднесущей) в ЧМ-спектре соответствует не одна полоса как при амплитудной модуляции, а несколько полос. Первая нижняя полоса находится в видеоспектре, а вторая должна находиться в области отрицательных частот, следовательно, она «уходит назад» и интерферирует с первой и видеонесущей. Эта интерференция создает неприятные для глаз муаровые полосы, заметность которых возрастает в кубе от амплитуды поднесущей

Эти недостатки, о которых нельзя было и подозревать, ибо видеомагнитофоны появились через несколько лет после утверждения системы NTSC в качестве американского стандарта, побудили американских инженеров разработать специальную дополнительную аппаратуру, как, например, «Колортек», которую из-за ее сложности мы здесь рассматривать не будем. Тем не менее запись цветного телевизионного изображения по системе NTSC сталкивается с определенными трудностями и в повседневной практике не всегда дает хорошие результаты.

г) Влияние полосы пропускания. Квадратурные искажения

Принцип передачи в системе NTSC основан на модулировании несущей сигналами цветности со сдвигом фаз на 90°. Поэтому проникновение модуляции *I* на ось *Q* и, наоборот, равно нулю, и взаимные помехи этих двух информаций не возникают.

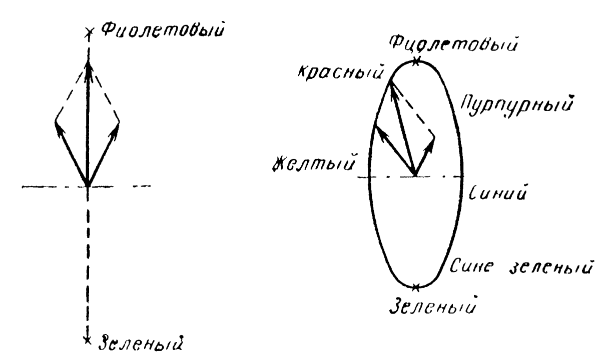


Рис. 56. Квадратурный дефект, вызываемый срезом полосы

На деле неполадки в передаче, как, например, срез полосы пропускания, могут нарушить эту квадратуру (сдвиг фаз на 90°). В самом деле, амплитудную модуляцию можно изобразить на диаграмме Френеля комбинацией двух симметричных равных, но вращающихся в противоположных направлениях векторов. Эти два вектора изображают боковые линии модуляции, которая, разумеется, предполагается синусоидальной. Если частоту несущей

обозначить F, а модулирующую частоту f, то эти боковые полосы будут соответственно: $F+f$ и $F-f$. Само собой разумеется, что случайный срез полосы пропускания в бо́льшей или меньшей мере ослабит верхнюю полосу; в этих условиях боковые полосы будут уже не равными, а векторы, изображающие I и Q, больше не будут перпендикулярными. Проекции I на Q и Q на I перестанут быть равными нулю и между этими двумя информациями о цвете возникнут взаимные помехи.

Представим для примера случай перехода по оси Q (от зеленого до фиолетового), когда величина I равна нулю. Полное или частичное подавление верхней боковой полосы Q приводит к тому, что вектор перестает быть перпендикулярным оси I и вращается. Демодулированная составляющая I уже не может быть равной нулю и изображение вместо того, чтобы прямо перейти от зеленого к фиолетовому, перейдет между этими цветами по эллипсу на графике цветности.

Можно было бы думать, что передача сигнала I с несимметричными двумя боковыми полосами систематически вызывает такое квадратурное искажение, но, к счастью, это не так На самом деле такое искажение может возникнуть только для нижних боковых полос I, расположенных более чем на 0,6 *Мгц* от несущей (потому что до 0,6 *Мгц* полосы симметричны); тогда сигнал взаимной помехи в информации Q оказывается за пределами полосы пропускания (ограниченной до 0,6 *Мгц*). Следовательно, фильтры в декодирующем устройстве должны быть сделаны особенно тщательно.

Как правило, случайный срез полосы приводит к появлению неприятных окрашенных окантовок на переходах.

д) Отраженный сигнал

Хорошо известное в черно-белом телевидении явление, когда на экране видны наложенные друг на друга прямое и отраженное изображения, в цветном телевидении осложняется неприятным хроматическим искажением. В самом деле, предназначенный для восстановления поднесущей в декодирующем устройстве кварцевый генератор синхронизируется по первому сигналу цветной синхронизации, но весь график цветности (для больших цветных участков изображения) повернут на угол β, который одновременно зависит от запаздывания и от ослабления отраженного сигнала по сравнению с прямым сигналом. Таким образом, неизбежно возникает и искажение цветопередачи. Впрочем, между прямыми и повторными переходами образуется сочетание старой и новой фазы, из-за чего такое изображение в значительно меньшей степени, чем в черно-белом телевидении, приемлемо для практического использования.

Заключение о системе NTSC

Рассмотренный метод не всегда способен обеспечить верную цветопередачу в нормальных условиях эксплуатации (которые весьма далеки от идеальных условий воспроизведения цветного изображения в лаборатории), поэтому американские и японские фирмы устанавливают на выпускаемых ими телевизорах две дополнительные ручки для регулировки цветового тона и насыщенности, которыми должен пользоваться телезритель.

Однако средний телезритель как в Соединенных Штатах, так и в любой иной стране с чрезвычайным трудом постигает тайну регулировки яркости и контрастности в черно-белом телевидении Я представляю моим слушателям возможность подумать о какофонии цветов, которая может появиться на экране в результате неумелого пользования телезрителями слишком многочисленными ручками регулировки...

Однако это совершенно не мешает миллионам американцев и японцев уже на протяжении ряда лет благодаря системе NTSC пользоваться удовле-

творяющим их требованиям цветным телевизионным изображением. Не следует также забывать, что эта система лежит в основе всех созданных позднее систем цветного телевидения.

II. СИСТЕМА PAL

Принимая во внимание, что наиболее существенный недостаток системы NTSC заключается в очень большой чувствительности к фазовым искажениям, авторы системы PAL придумали метод компенсации этих искажений в декодирующем устройстве

Основная идея изобретателя системы PAL доктора Вальтера Бруха — перевернуть на 180° направление оси $(R-Y)$ на одной строке из каждых двух (отсюда происходит и само название системы *Phase Alternation Line* — строка с переменной фазой).

Для этой цели в кодирующем устройстве передатчика предусмотрен инвертор.

На приемной стороне подобный инвертор позволяет получить сигнал $(R-Y)$ в правильной фазе. Но главная «хитрость» заключается в том, что с помощью линии задержки, представляющей собой «память», сигналы двух следующих одна за другою строк складываются таким образом, что их фазовые искажения оказываются в противофазе и взаимно уничтожаются.

Выдвигая этот принцип, Вальтер Брух основывался на фундаментальном законе, сформулированном Анри де Франсом; по этому закону цветовое содержание двух соседних строк довольно идентично.

1. Кодирование

На основе системы NTSC введен один вариант: у одной из двух строк изменена полярность несущей $(R-Y)$, несущая $(B-Y)$ не подвергается никаким изменениям.

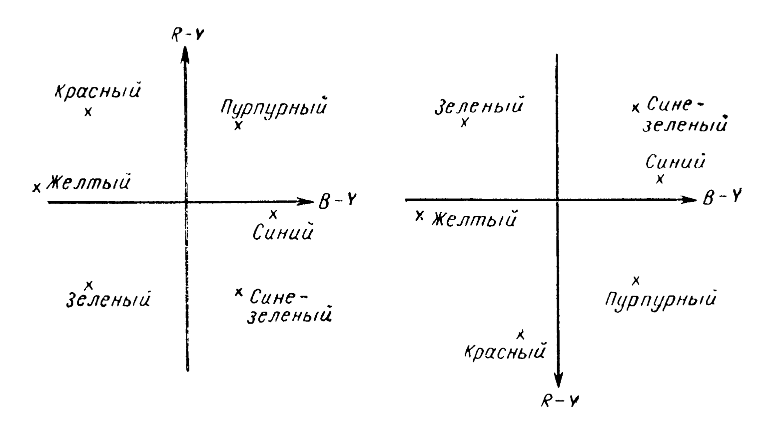


Рис. 57. В системе PAL две передаваемые одна за другой строки имеют различные графики цветности (на левом рисунке сигнал $+I$ находится вверху, а на правом рисунке сигнал $+I$ находится внизу, ось Q у обеих строк занимает на графике одно и то же место).

Дальше в ходе лекции ради простоты изложения мы будем пользоваться обозначениями: $I = R-Y$ и $Q = B-Y$. Следует помнить, что сигналы I и Q системы PAL не совпадают с сигналами I и Q системы NTSC. В част-

ности, в системе PAL оба сигнала передаются с одинаковой шириной полосы пропускания.

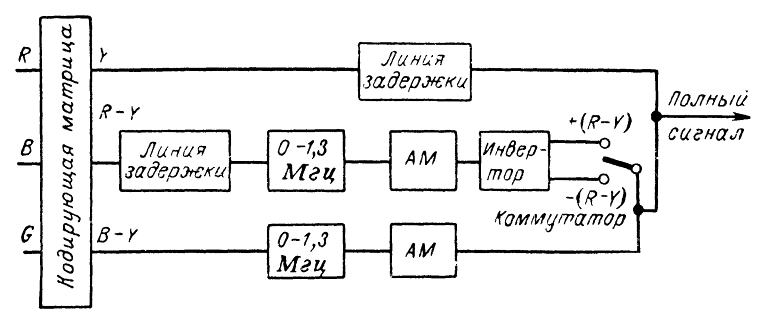


Рис. 58. Упрощенная блок-схема кодирующего устройства системы PAL.

Как мы увидим, декодирующее устройство должно различать полярность несущей *I* (90 или 270°); для этого передают сигнал синхронизации с чередующейся фазой 180—45° и 180+45° (чередующийся сигнал синхронизации).

2. Декодирование

а) Стандартная система PAL

Представим, что мы одновременно имеем в своем распоряжении две диаграммы поднесущей, соответствующие графикам цветности четных и нечетных строк. Для достижения этого используют *линию задержки* со временем, равным времени передачи одной строки (в европейском стандарте с разложением изображения на 625 строк — 64 *мксек*); эта линия задержки хранит поднесущую и восстанавливает ее с опозданием на одну строку.

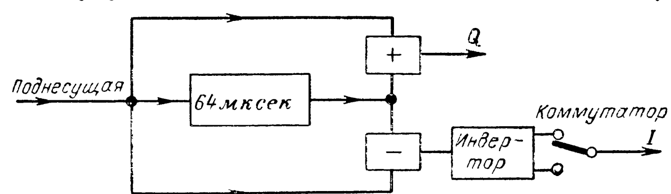


Рис. 59. Упрощенная блок-схема декодирующего устройства стандартной системы PAL.

Вполне ясно, что сумма вектора V_1, представляющего одну строку, и вектора V_2, представляющего следующую строку, равна $2Q'$, разность поочередно равна $2I'$ и $-2I'$. (Разность векторов получают сложением одного вектора с другим, у которого предварительно изменили знак на противоположный.)

Теперь предположим, что вектор V_1, характеризующий цвет одного элемента из первой строки, имеет в качестве аргумента угол φ. Но при наличии фазового искажения, соответствующего некоторому углу α, он сместится в положение V_2 (рис. 61, *а*).

На следующей строке (рис. 61, *б*) направление оси *I* изменяется на противоположное. Вектор V_1, испытывающий такое же фазовое искажение α, перемещается в положение V_2.

В приемнике инверсия оси I приведет вектор в симметричное по отношению к оси Q положение (рис. 61, *в*). Этот сигнал складывается (рис. 61, *г*) с сигналом предыдущей строки, котрый в течение 64 *мксек* хранился в линии задержки.

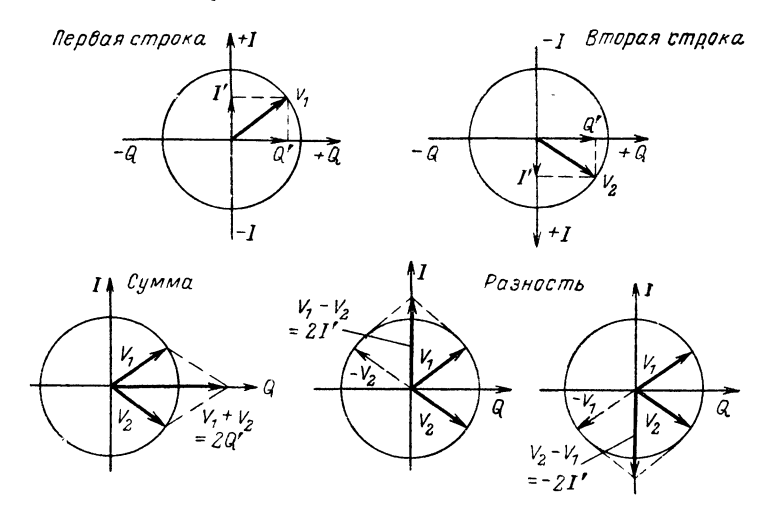


Рис. 60. Сложение и вычитание сигналов Q и I в двух передаваемых одна за другой строках.

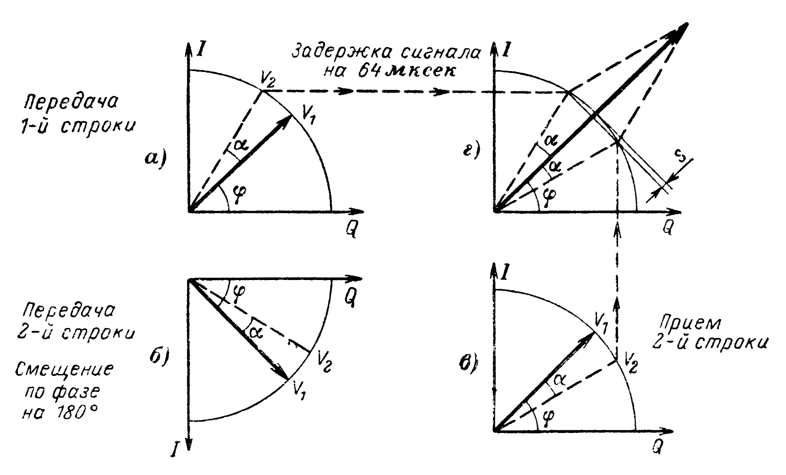


Рис. 61. Если при передаче первой строки (*а*) вектор V_1 из-за фазового искажения смещается на угол α и занимает положение V_2, то такое же явление происходит и при передаче второй строки (*б*), у которой ось направлена в противоположную сторону. В декодирующем устройстве приемника сигнал второй строки еще раз проходит через фазоинвертор (*в*) и складывается с сигналом первой строки (*г*).

Что дает это сложение? Дифференциальные фазы обоих векторов *оказываются равными по величине, но имеют противоположные знаки.* В этих условиях они взаимно уничтожаются.

В этом заключается наибольшее преимущество системы PAL по сравнению с системой NTSC. Эта система позволяет правильно воспроизводить в приемнике цветовой тон передаваемого изображения.

А насыщенность? Мы можем сказать, что вследствие фазового искажения насыщенность претерпевает небольшое изменение. В самом деле, как показано на рис. 61, *г*, результирующий вектор вместо того, чтобы быть равным удвоенному V_1, оказывается немного короче, так как он образуется диагональю равностороннего параллелограмма. Однако при допустимых значениях фазового сдвига α получающиеся различия в насыщенности (S) практически незаметны для глаза

Для детектирования необходимо, как и в системе NTSC, восстановить поднесущую. Демодулирование сигнала производится синхронно, а постоянная полярность сигнала I достигается за счет использования электронного инвертора, синхронизированного чередующимися сигналами синхронизации.

б) Упрощенная система PAL

В данном случае используется декодирующее устройство системы NTSC, к которому добавляется инвертор полярности детектированного сигнала I; инвертор синхронизирован чередующимися сигналами синхронизации. Попутно отметим, что стандартная система PAL, которая первоначально в литературе фигурировала под названием PAL-DL (*Delay Line* — линия задержки), теперь часто неправильно называется «PAL-люкс» (PAL de luxe).

3. Технические характеристики системы PAL

а) Дифференциальное усиление

В связи с тем, что амплитудная модуляция поднесущей производится так же, как в системе NTSC, характеристики системы PAL с точки зрения амплитудных искажений точно такие же, как и у системы NTSC.

б) Дифференциальная фаза

1. **Стандартная система PAL.** Как мы видели при рассмотрении принципа системы PAL, фазовое искажение α аннулируется самой природой системы при условии, что его величина для двух соседних строк не изменяется. За исключением случаев технических неполадок, эта величина в передающей цепи остается неизменной или изменяется медленно. Поэтому можно утверждать, что система PAL, как правило, позволяет верно воспроизводить цветовые тона изображения.

2. **Упрощенная система PAL.** Вызываемое сдвигом фазы искажение цветов проявляется во вращении графика цветности в противоположные стороны у двух соседних строк вследствие периодического изменения полярности сигнала I. При небольших искажениях глаз способен *интегрировать* эти чередующиеся и симметричные ошибки цветопередачи; но при значительных искажениях, когда в системе NTSC наблюдается *поворачивание* цвета, в системе PAL можно заметить горизонтальные полосы разных цветов, перемещающиеся снизу вверх; причина этого явления заключается в использовании чересстрочной развертки (эффект жалюзи).

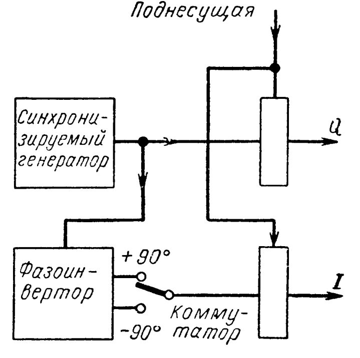


Рис. 62. Принципиальная блок-схема декодирующего устройства упрощенной системы PAL.

в) Магнитная запись

Начиная с этого момента мы будем рассматривать только стандартное декодирование, ибо упрощенная система PAL дает результаты такие же или даже хуже, чем система NTSC.

В тех же условиях, в которых мы рассматривали характеристики системы NTSC, т. е. в случае использования синхронизированного по частоте строк видеомагнитофона, фазовые искажения, вызываемые неравномерной скоростью протяжки ленты, дадут такой же результат, как и при дифференциальной фазе: в самом деле, мы не сформулировали иной гипотезы, кроме той, которая утверждает, что фазовое искажение для двух соседних строк одинаково. А в этих условиях вызываемые дифференциальной фазой искажения взаимно нейтрализуются.

Точно так же и коммутация сигнала с одной головки на следующую может вызвать лишь искажение насыщенности, но не цветового тона, так как в декодирующем устройстве для восстановления поднесущей используется не кварц, а управляемый контур.

Однако муаровые полосы, порождаемые исключительно большими размахами амплитуды поднесущей, существуют в системе PAL точно так же, как в системе NTSC

Следовательно, для записи цветного телевизионного сигнала по системе PAL нужно использовать видеомагнитофоны с вспомогательными устройствами типа «Колортек», разработанными для системы NTSC; обычно это дает удовлетворительные результаты.

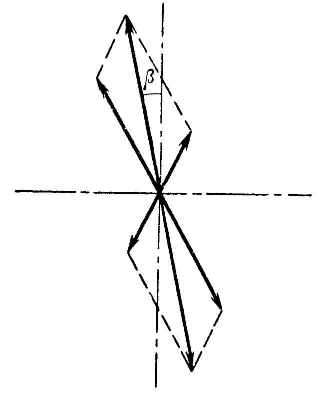


Рис. 63. Устранение квадратурного искажения в системе PAL.

г) Срез полосы

Тот факт, что для одной строки из двух передается сигнал I, а для другой из этой пары строк сигнал $-I$ (симметричный относительно начала координат), *делает также симметричным* и боковые полосы I. Верхняя и нижняя полосы воздействуют одна на другую. Квадратурное искажение β, увеличивающее угол между осями I и Q до величины $90° + \beta$, на следующей строке превращается в искажение $-\beta$, в результате чего угол между осями I и Q становится $90° - \beta$. Мы берем сумму и разность обеих поднесущих, благодаря чему искажение β уничтожается. Следовательно, в стандартной системе PAL при срезе полосы не происходит взаимных помех между двумя сигналами цветности; можно заметить лишь некоторое снижение насыщенности на частично подавленной полосе, т. е. снижение хроматической четкости передаваемого цветного изображения.

д) Повторные сигналы

Известное для системы NTSC явление повторного сигнала в системе PAL отсутствует — причина та же, что и в изложенном выше случае: замена кварца в декодирующем устройстве управляемым резонатором.

е) Особенности системы PAL

Таким образом, стандартная система PAL существенно лучше системы NTSC по таким показателям, как неполадки с распространением или передачей сигналов.

Системе PAL ставили в упрек снижение хроматической разрешающей способности по вертикали (это определяется тем, что информация о цвет-

ности используется дважды на двух соседних строках); этот упрек не имеет никакого смысла, если вспомнить, что хроматическая четкость по горизонтали в 4—5 раз ниже яркостной четкости. В ходе последующего изложения мы увидим, что в системе SECAM значительно раньше решили использовать это излишество четкости для повышения помехоустойчивости информации о цвете

Одновременно необходимо отметить, что в приемнике для стандартной системы PAL, который в принципе устраняет влияние фазового искажения (при условии, что оно незначительно изменяется от строки к строке), имеется риск возникновения новых искажений, скорректировать которые невозможно. Действительно, время прохождения сигнала по линии задержки, которая служит для хранения поднесущей на время развертки одной строки, должно быть точным и постоянным с тем, чтобы фазы прямой несущей Q и задержанной несущей Q строго совпадали. Сдвиг фазы вызывает такое же искажение цветопередачи, что и в системе NTSC.

Заключение о системе PAL

Система PAL более удобна в эксплуатации, чем система NTSC (легкость магнитной записи, возможность использования аппаратуры с небезупречными фазовыми характеристиками), обычно она дает изображение лучшего качества, но ее приемник более сложен и более капризен в эксплуатации.

В системе PAL по сравнению с обычным черно-белым телевизором телезрителю приходится пользоваться только одной дополнительной регулировкой: регулировкой насыщенности цветов

В заключение заметим, что название PAL применяется для весьма различных категорий телевизоров: стандартная система PAL, которая обладает всеми перечисленными преимуществами, и упрощенная система PAL, которая дает такие же или даже худшие, чем система NTSC, результаты.

III. СИСТЕМА SECAM

1. Кодирование

Система SECAM полностью отвергает двойную квадратурную модуляцию; принцип можно кратко изложить следующим образом: *при желании избежать взаимовлияния сигналов цветности, их не следует передавать одновременно; при желании избежать взаимовлияния сигналов яркости и цветности нужно, чтобы сигнал яркости модулировал главную несущую по амплитуде, а сигнал цветности модулировал поднесущую по частоте.*

Поднесущая в каждый отдельно взятый момент передает один из сигналов цветности: например $(R-Y)$; в следующий момент она передает другой сигнал: $(B-Y)$. Коммутация производится во время обратного хода луча (чтобы помехи не появлялись на экране). Впрочем, для передачи максимального количества информации периоды повторения отрезков $(R-Y)$ и $(B-Y)$ должны быть как можно короче. Поэтому *модулирующий поднесущую сигнал изменяется на каждой строке* Выбор частоты для поднесущей определяется совершенно иными, нежели в системе NTSC, критериями. Действительно, использование частотной модуляции разрушает сетку из неподвижных точек Наилучший компромисс был найден в результате продолжительной экспериментальной работы

Выбранная для поднесущей частота равна произведению строчной частоты на целое число (282 для сигнала $R-Y$ и 272 для сигнала $B-Y$); при отсутствии модуляции точки устанавливаются в вертикальные полосы и поэтому очень заметны на экране. Тогда прибегают к искусственному «смещению», инвертируя фазу поднесущей на одной строке из трех в каждом полукадре. При любой глубине частотной модуляции видимость этого переплетения точек минимальна.

Сигналы цветности подвергаются предыскажению и поднесущей «придается форма» фильтром, форма частотной характеристики которого напоминает перевернутый колокол (фильтр «антиклеш»); функции этого фильтра мы рассмотрим несколько позднее.

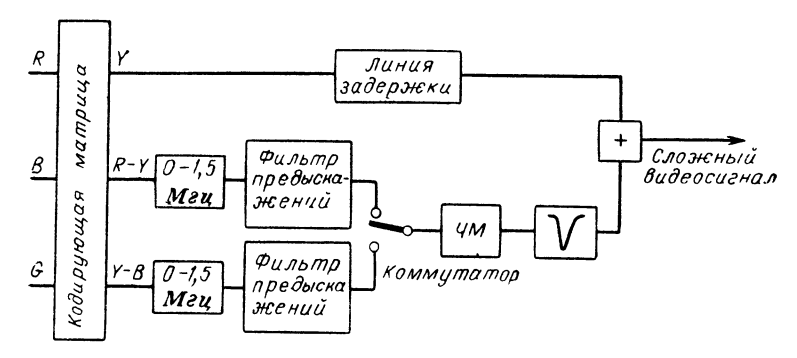


Рис. 64. Упрощенная блок-схема кодирующего устройства системы SECAM.

Отметим также, что сигналы $(R-Y)$ и $(B-Y)$ *передаются с противоположной полярностью,* т. е. вызываемое сигналом $(R-Y)$ отклонение направлено в противоположную сторону по сравнению с отклонением частоты, вызываемым сигналом $(B-Y)$ с тем же знаком. Подтвержденные экспериментами теоретические исследования показывают, что таким образом снижается видимость поднесущей в совместимом (черно-белом) изображении и при этом повышается помехозащищенность сигнала цветности от шумов.

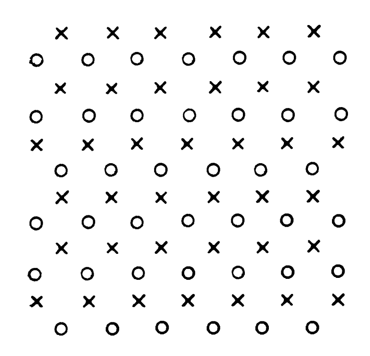


Рис. 65. Чередующееся расположение точек, вызываемых на экране телевизора поднесущей системы SECAM.

Мы видим, что в системе SECAM декодирующее устройство, как и в системе PAL, должно «знать», какая информация в данный момент передается: $R-Y$ или $B-Y$. Поэтому для опознавания цветов передается дополнительная информация, состоящая из поднесущей, модулированной зеленым:

$$R-Y<0;$$
$$B-Y<0$$

Эта информация, заменяющая чередующиеся пачки сигналов, передается на девяти строках, размещенных в интервале кадрового гасящего импульса. В это время передаются следующие сигналы цветности:

$$C_R>0;$$
$$C_B<0,$$

потому что, как уже отмечалось, эти сигналы передаются с противоположной полярностью.

2. Декодирование

В блоке цветности декодирующего устройства прежде всего мы видим фильтр с колоколообразной характеристикой (клеш-фильтр), который по амплитуде и по фазе компенсирует воздействие стоящего в кодирующем устройстве антиклеш-фильтра; иначе говоря, действие обоих фильтров взаимно аннулируется. Но тогда возникает вопрос, зачем же их поставили? Если между двумя фильтрами, например, на пути прохождения телевизионного сигнала по эфиру ввести какой-либо посторонний сигнал (различного рода помехи), то полосой пропускания приемника для этого сигнала будет узкая полоса клеш-фильтра, тогда как для предыскаженного антиклеш-фильтром сигнала она имеет максимальную ширину. Таким образом, повышают *помехозащищенность* сигналов яркости от посторонних сигналов. Воздействие клеш-фильтра завершает коррекцию предыскажения.

Затем поднесущая направляется на линию задержки, время прохождения сигнала по которой равно времени развертки одной строки, т. е. 64 *мксек*

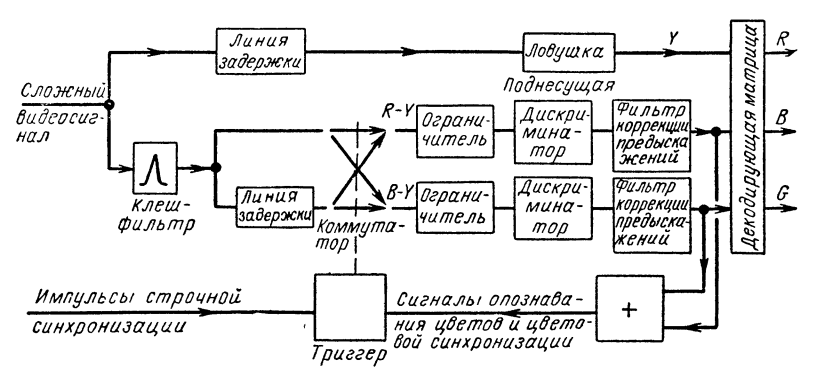


Рис. 66. Упрощенная блок-схема декодирующего устройства системы SECAM.

для телевизионного стандарта с разложением на 625 строк. Известно, что название SECAM означает «Последовательная передача цветов с запоминающим устройством» *(SEquences de Couleurs Avec Mémoire)*, и мы уже видели, что сигналы цветности передаются последовательно, а не одновременно; линия задержки служит *запоминающим устройством*. Следовательно, если выходящая из линии задержки поднесущая модулирована сигналом C_r, то прямо на вход поступает поднесущая, модулированная сигналом C_b, и наоборот. Электронный инвертор, управляемый импульсами обратного хода электронного луча по строкам, поочередно подключает вход и выход линии задержки к демодуляторам ($R - Y$) и ($B - Y$), состоящим из ограничителей, дискриминаторов и ячеек фильтров коррекции предыскажений.

Само собой разумеется, что декодирующее устройство должно «знать», какая информация о цветности передается в данный момент (в противном случае возникает риск систематически путать сигналы C_r и C_b); оно должно также «знать», принимает телевизор монохроматическую или полихроматическую программу; в самом деле, при отсутствии поднесущей ограничители, рассчитанные на выдачу постоянной и не зависящей от входного сигнала мощности, подадут на *дискриминаторы* шум.

Именно в этот момент на сцену выступают сигналы опознавания цветов, о которых мы уже упоминали. Эти сигналы демодулируются и используются для формирования сигнала цветной синхронизации: $S = (C_r - C_b)$, который интегрируется во времени. Сигнал цветовой синхронизации имеет положительный знак, если инвертор работает правильно, равен нулю при отсут-

ствии сигналов цветности и имеет отрицательный знак, если инвертор путает порядок следования сигналов C_r и C_b. Полярность сигнала S позволяет синхронизировать инвертор, а в отсутствие сигнала запереть блок цветности декодирующего устройства.

3. Характеристики системы SECAM

а) Дифференциальное усиление

Амплитуда поднесущей не несет никакой информации, поэтому она ограничивается в декодирующем устройстве, и искажения вследствие дифференциального усиления не оказывают никакого влияния на правильность воспроизведения цветов.

б) Дифференциальная фаза

Информация о цветности передается с помощью частотной модуляции. Сдвиг фазы во всей передающей цепи под воздействием дифференциальной фазы за время Δt увеличивается с φ до $\varphi + \Delta\varphi$. Следовательно, появляется вредное отклонение частоты:

$$\Delta F = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}.$$

Это *ненужное отклонение* не полностью демодулируется декодирующим устройством, но подвергается двойному воздействию клеш-фильтра и фильтра коррекции предыскажений. В системе SECAM искажение, вызываемое дифференциальной фазой, может повлиять лишь на переходы, а не на широкие одноцветные участки изображения. Обычно считают, что отклонение $\pm 25°$ вызывает едва заметный эффект (т. е. допуск в 5 раз больше, чем в системе NTSC, а кроме того, проявляется это явление иным образом, так как в системе SECAM оно воздействует не на все изображение).

в) Магнитная запись

Благодаря использованию частотной модуляции SECAM *представляет собой идеальную систему для магнитной записи.*

В самом деле, отклонение скорости протяжки пленки ΔV вызывает паразитный уход частоты ΔF:

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta V}{V}.$$

В этом случае накопления ошибки не происходит и паразитный уход частоты *демодулируется* не полностью. Обычной точности скорости порядка 0,3% вполне достаточно. Точно так же и переключение сигнала с одной головки на другую не сопровождается никакими искажениями, потому что передаваемые с частотной модуляцией сигналы цветности не чувствительны как к неравномерности фазы, так и к неравномерности амплитуды.

И, наконец, амплитуда поднесущей невелика и изменяется мало, что устраняет появление муаровых полос.

Для записи телевизионных сигналов по системе SECAM пользуются обычными «черно-белыми» студийными видеомагнитофонами без каких бы то ни было переделок и без дополнительных устройств. Можно использовать даже полупрофессиональные переносные магнитофоны не с такими высокими характеристиками; эта аппаратура при меньших расходах дает превосходные цветные изображения.

г) Недостатки полосы пропускания

В системе SECAM ни при каких обстоятельствах не может возникать перекрестных помех между сигналами цветности. Недостаточная полоса

пропускания, разумеется, вызывает снижение четкости изображения, но и в этом случае нет необходимости в более строгом ограничении, чем то, которому в обязательном порядке должен подвергаться сигнал под воздействием клеш-фильтра. При обычных неполадках («уставший» передатчик, плохо настроенный телевизор) изъян изображения будет едва заметен.

д) Повторные сигналы

Повторные сигналы оказывают влияние на цветное изображение, передаваемое по системе SECAM, не в большей мере, чем на монохроматическое изображение.

е) Чувствительность к шумам

Тот факт, что девиация частоты по сравнению с максимальной частотой модуляции невелика, снижает помехозащищенность. Для устранения этого недостатка поднесущей в передатчике придают особую форму (см выше об антиклеш-фильтре).

Это означает, что в тех случаях, когда телевизор приходится устанавливать на краях зоны действия телепередатчика, целесообразно применять антенны с большим коэффициентом усиления.

Заключение о системе SECAM

Система SECAM обладает множеством положительных качеств; следует знать, что обслуживание профессиональной аппаратуры не вызывает особых проблем по сравнению с аналогичной аппаратурой для черно-белого телевидения (исключение, естественно, в том, что цветной аппаратуры больше) и что специфические для системы SECAM блоки телевизоров (т. е. блоки цветности декодирующего устройства) требуют меньше ремонта, потому что эти блоки проще, чем в телевизорах конкурирующих систем.

Система SECAM очень долго разрабатывалась, и такие выдающиеся специалисты, как Анри де Франс, Кассань и Мельшиор постоянно вносили в нее усовершенствования; эта система появилась в 1956 г. и за время ее существования было создано несколько все более совершенных вариантов. Описанная нами система называется SECAM III; по определению профессора Фагота, который своими познаниями техники связи также внес свой вклад в ее создание, это оптимальный вариант. Система SECAM достигла полной зрелости и прошла продолжительную проверку в реальных условиях эксплуатации и была официально принята в некоторых странах в качестве государственного стандарта.

Причина успеха также и в том (а это непременно нужно отметить), что система SECAM самая простая. Простота системы представляет собой основной фактор экономичности и стабильности. Но, как говорил Христофор Колумб, «об этом нужно было подумать».

* *
*

Ни одна из трех систем не безупречна, так как совершенство не характерно для нашего мира. В совершенно нормальных условиях эксплуатации все эти три системы обеспечивают прекрасное воспроизведение изображений. Характеристики систем различаются лишь тогда, когда передающая линия подвергается воздействию помех. Все это не должно помешать нам восхищаться чудесами изобретательности создателей NTSC, SECAM и PAL — в данном случае мы называем системы в хронологической последовательности их появления.

ГЛАВА 10

Благодаря приобретенным в результате усвоения предшествующих глав знаниям наши молодые друзья могут приступить к препарированию цветного телевизора. Изучая устройство телевизора, они поочередно рассмотрят следующие вопросы:

Усилитель промежуточной частоты. Линии задержки. Триггер. Ограничители. Генераторы. Видеоусилители. Устройство для запирания каналов цветности. Транзисторизация

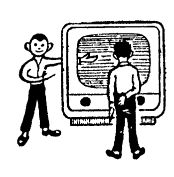
АНАЛИЗ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ПРИЕМНИКА СИСТЕМЫ SECAM

Специфика начинается с промежуточной частоты

Незнайкин. — Мой дорогой друг, лекция профессора Радиоля меня очень заинтересовала. Но на мой взгляд, в ней кое-чего не хватает.

Любознайкин. — Мне кажется, я догадываюсь чего именно, но сначала закончи свою мысль.

Н. — Ну хорошо, я получил много теоретических сведений о различных совместимых системах цветного телевидения и об их свойствах, а теперь мне хотелось бы, чтобы мы поближе занялись устройством наиболее интересного для нас телевизора, т. е. приемником системы SECAM.



Л. — Пойми хорошенько, что вчерашняя лекция преследовала информационные цели и была предназначена для очень широкой аудитории и поэтому профессор Радиоль не мог вдаваться в подробности.

Н. — Разумеется, Но вернемся к нашему телевизору; если не говорить о кинескопе, то полихроматический телевизор отличается от классического только своими блоками видеоканала.

Л. — Ты одновременно прав и неправ.

Н. — ???

Л. — Разумеется, с точки зрения теории до детектора в этих двух телевизорах нет никакой разницы. И тем не менее на практике разработчики должны принять некоторые меры предосторожности, например уже в усилителе промежуточной частоты.

Н. — Объясни, что ты хочешь этим сказать.

Л. — С удовольствием. В монохроматическом телевидении форма частотной характеристики УПЧ на верхних частотах не очень критична: важно лишь, чтобы несущая звука была хорошо подавлена или, как часто говорят, «режектирована». А в цветном телевидении именно в этой зоне спектра телевизионного сигнала находится поднесущая; следова-

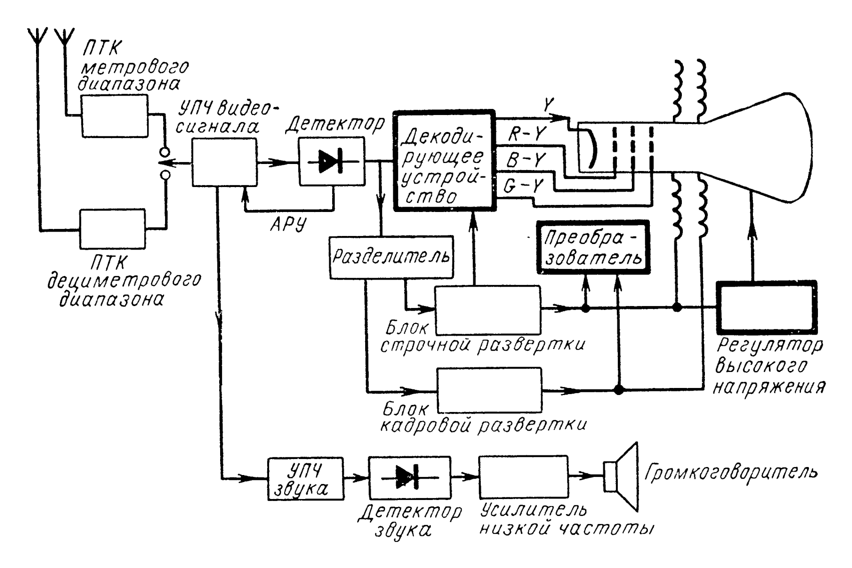


Рис. 67. Блок-схема телевизора системы SECAM.

Блоки, которых нет в монохроматическом телевизоре и которые, следовательно, наиболее характерны для цветного телевизора, обозначены жирными линиями.

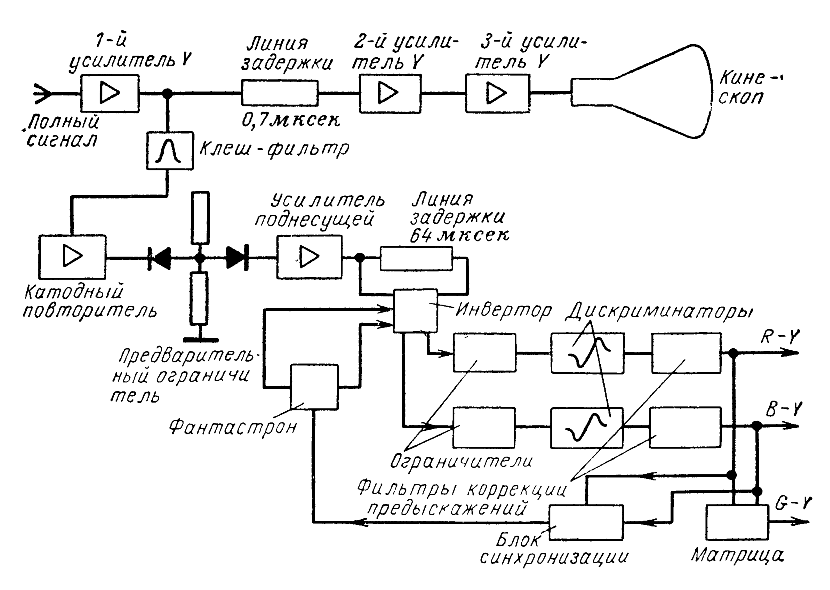
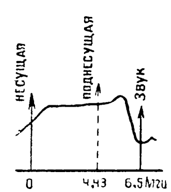


Рис. 68. Декодирующее устройство телевизора системы SECAM. По схеме видно, что это довольно сложное устройство.

тельно, частотная характеристика усилителя промежуточной частоты не должна резко падать; желательно иметь во всей полосе цветности одинаковый коэффициент усиления.



Н. — Я думаю, что такой усилитель ПЧ трудно сделать.

Л. — Не совсем так Ведь несущая звука отстоит от несущей изображения на 6,5 *Мгц*, а благодаря действию клеш-фильтра энергия цветовой поднесущей концентрируется около частоты 4,43 *Мгц*. Таким образом, в спектре телевизионного сигнала имеется достаточное пространство, чтобы можно было правильно подавить несущую звука, не нарушая при этом полосы цветности. Я просто хотел сказать, что нужно сознательно учитывать это различие, такое же требование предъявляется и к автоматической регулировке усиления.

Н. — Иначе говоря, к АРУ.

Л. — Да Необходимо помнить, что поднесущая в декодирующем устройстве ограничивается, и если детектированный видеосигнал окажется из-за недостаточно эффективной АРУ слишком слабым, то отношение яркость — цветность будет тоже слишком мало

Н. — И, следовательно, насыщенность получится слишком большой Значит, когда говорят, что система SECAM верно передает насыщенность цветов...

Л. — .. исходят из предположения, что АРУ работает достаточно эффективно.

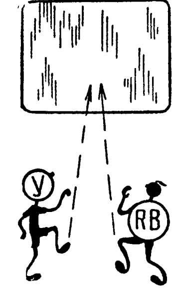
Н. — И даже более эффективно, чем в монохроматическом телевизоре?

Декодирующее устройство = яркость + цветность

Л. — Да. А теперь, если ты не возражаешь, вернемся к декодирующему устройству

Н. — Какие функции оно выполняет, я уже понял. Можешь ли ты теперь объяснить мне, как оно работает?

Л. — Такая проблема, как схемное решение той или иной функции, относится к общей радиотехнике. Если ты согласен, мы подробно и последовательно проанализируем схему декодирующего устройства. В самом общем виде оно состоит из двух частей: блок яркости и блок цветности.



Н. — Это вполне понятно, и мы можем не рассматривать блок яркости, так как это самый обычный видеоусилитель.

Л. — Ты ошибаешься, мой дорогой друг; блок яркости не совсем обычный видеоусилитель, так как он выполняет новые задачи, в частности он должен задержать информацию о яркости примерно на 0,7 *мксек*, чтобы она попала на экран телевизора одновременно с передаваемой узкой полосой информации о цветности.

Н. — Прости, но эту задержку вносит *кодирующее устройство* при передаче, а не декодирующее устройство телевизора

Л. — Ты не ошибаешься: кодирующее устройство тоже имеет линию задержки в канале яркости. И на выходе этого кодирующего устройства информации о яркости и цветности находятся в фазе. Однако это не освобождает от необходимости иметь линию задержки лишь для яркостного сигнала и в декодирующем устройстве телевизионного приемника.

Н. — А нельзя ли поставить в кодирующее устройство

линию задержки на вдвое большую длительность, чтобы сэкономить линию задержки в телевизоре?

Л. — Эта идея столь очевидна, мой дорогой друг, что об этом подумали задолго до тебя.

Н. — И, как обычно, опыт показал, что это абсолютно идиотская идея.

Л. — Не сердись, Незнайкин. Я могу сказать тебе, что этой идеей занимались выдающиеся технические специалисты.

Н. — Ну ладно, начинай громить мою идею.

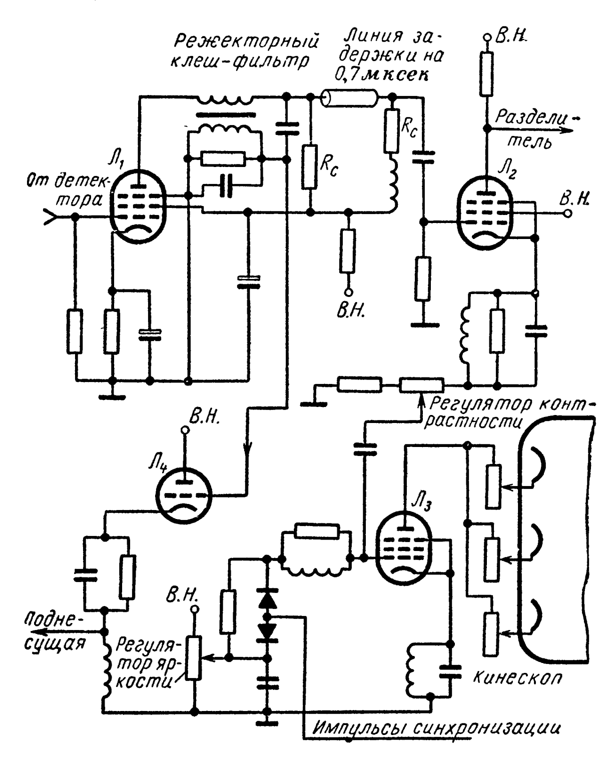


Рис. 69. Усилитель яркостного сигнала.



Л. — Этот метод был бы вполне пригодным, если бы поднесущая не была модулирована по амплитуде. Хроматический переход часто (почти всегда) сопровождается яркостным переходом. Если ты задержишь на 0,7 *мксек* яркостный сигнал, в полихроматическом телевизоре все пойдет нормально, но нельзя забывать о несчастном владельце монохроматического телевизора. Что он увидит?

Н. — Понимаю. При приеме на черно-белый телевизор яркостный сигнал приходит одновременно с сигналом цветности (потому что в таком телевизоре нет декодирующего устройства). И «предварительно задержанная» при кодировании информация о яркости сместится вправо по экрану со стороной 40 *см* по горизонтали примерно на 0,7 *мксек*/64 *мксек* · 40 *см* или примерно на 4 *мм*,

Л. — Если бы поднесущая не была модулирована по амплитуде, то это не имело бы никакого значения. Но комбинация предыскажения видеосигнала с воздействием фильтра с колоколообразной характеристикой порождает амплитудную модуляцию, и зритель ясно увидел на черно-белом экране два контура, смещенных на 4 *мм* один относительно другого.

Н. — Примерно как повторный отраженный сигнал.

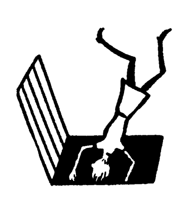
Л. — Вернее, картина получится прямо обратной случаю приема отраженного сигнала, так как основной сигнал (яркостный) находится справа от побочного изображения, создаваемого цветовой поднесущей. Но усилитель яркостного сигнала должен выполнять еще одну задачу. Он должен поглощать поднесущую, так как ее присутствие вносит искажения в цветное изображение.

Хитрости в канале яркости

Н. — Профессор Радиоль упомянул об этом, но я плохо понял. В самом деле, он сказал что система совместима, т. е. поднесущая малозаметна на экране телевизора.

Л. — Это справедливо для монохроматических телевизоров, у которых усилитель промежуточной частоты имеет некоторый завал на частоте поднесущей. В цветном же телевизоре усилитель ПЧ имеет ровную характеристику в полосе видеосигналов цветности. А так как усилитель имеет специальную конструкцию, то ничего не стоит предусмотреть *ловушку* для поднесущей (режекторный фильтр), чтобы сделать изображение более совершенным.

Н. — Значит, усилитель сигнала яркости представляет собой видеоусилитель, в который дополнительно включили линию задержки на 0,7 *мксек* и заграждающий фильтр, служащий «западней» для поднесущей.



Л. — Почти так. Посмотрим схему на рис. 69. После детектирования сложный сигнал предварительно усиливается пентодом $Л_1$. Снятый с анода сигнал направляется на линию задержки и на колебательный контур, настроенный на среднюю частоту поднесущей; этот контур выделяет поднесущую и при этом выполняет известную функцию клеш-фильтра. Попутно я хочу обратить твое внимание на то, что нечувствительность системы SECAM к дифференциальным амплитудным искажениям позволяет выделять поднесущую при высоком уровне сигнала, т. е. дает возможность сэкономить один каскад усиления. В системах с амплитудной модуляцией поднесущей выделять поднесущую из полного телевизионного сигнала нужно сразу же после детектирования.

Частотная характеристика линии задержки скорректирована небольшой катушкой индуктивности, и задержанный сигнал подается на сетку пентода $Л_2$, который работает одновременно как усилитель (его анод соединен с разделителем) и как катодный повторитель: к катоду в качестве нагрузки подключены колебательный контур (который подавляет поднесущую) и потенциометр (который служит регулятором контрастности). Сигнал, амплитуду которого можно таким образом регулировать, подается на сетку пентода $Л_3$; переменное сопротивление служит регулятором яркости и на нем производится восстановление постоянной составляющей. Селективная цепь, выполняющая роль отрицательной обратной связи в цепи катода, завершает освобождение сигнала от следов поднесущей; анод этой лампы соединен с тремя като-

дами кинескопа через потенциометры, которые служат для регулирования тока луча электронных пушек, что позволяет компенсировать различия свечения люминофоров.

Н. — А для чего нужен триод $Л_4$?

Л. — Он выдает поднесущую (форма которой восстановлена клеш-фильтром) при постоянной амплитуде и при низком импедансе в блок цветности декодирующего устройства.

Н. — Должно быть, этот блок дьявольски сложный...

Анатомия и физиология линий задержки

Л. — этот блок выполняет следующие функции: усиление и предварительное ограничение поднесущей, задержка сигнала на 64 *мксек* и поворот фазы (фазоинвертор с управляющим триггером), ограничение, частотное детектирование, коррекция предыскажений, матрицирование сигнала $G - Y$, синхронизация и запирание канала цветности. Рассмотрим по очереди. как осуществляются эти функции.

Изображенный на рис. 70 пентод усиливает поднесущую, которая до этого получила надлежащую форму в результате воздействия клеш-фильтра и ограничена по амплитуде двумя диодами, последовательно включенными в цепь сетки. Анод соединен через согласующий импедансы трансформатор с линией задержки на 64 *мксек*, а кроме того, с одним из входов электронного инвертора, представляющего собой мостик из четырех диодов.

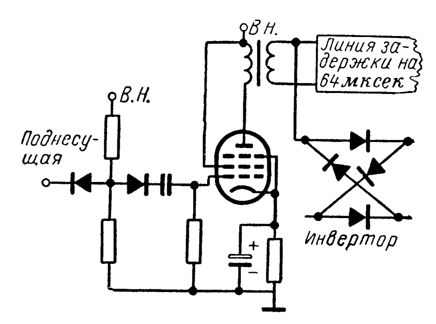
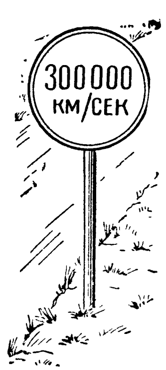


Рис. 70. Прежде чем попасть на изображенный выше пентод $Л_1$, поднесущая ограничивается по амплитуде двумя встречно включенными диодами.

Н. — Как сделать такую линию задержки? Если память мне не изменяет, количество индуктивно-емкостных элементов линии определяется произведением полосы пропускания на нужное время задержки, но ведь в нашем случае потребовалось бы колоссальное количество таких элементов.

Л. — Ты прав, если думаешь, что наша линия задержки сделана на таких элементах. На самом же деле в этом случае используется совершенно другая техника. Электромагнитные волны задержать очень трудно, так как они имеют очень большую скорость.



Н. — Действительно, ничто не может быть быстрее — ведь они распространяются со скоростью света 300 000 *км/сек*.

Л. — В вакууме. В системах задержки удается снизить их скорость. Но можно работать со значительно более медленными волнами, которые распространяются, например, со скоростью всего лишь в несколько километров в секунду.

Н. — Вот это да! Серьезная разница. Но как достичь такого результата?

Л. — А разве ты сам, Незнайкин, не знаешь медленные волны?

Н. — Конечно, например, звуковые волны.

Л. — Совершенно правильно, или, говоря в более общем виде, механические волны. Как известно, существуют определенные материалы, именуемые пьезоэлектрическими, которые изменяют свою форму под воздействием электричества.

Н. — Ты намекаешь на диффузоры громкоговорителей?

Л. — Они действительно отвечают приведенному определению, но это не материалы, а сделанные предметы. Я же думал о кварце и о серии керамических материалов, как, например, некоторые поляризованные титанаты. Впрочем, происходящее в них явление обратимо: при механическом воздействии эти материалы становятся электрическими генераторами.

Н. — Я должен был о них подумать. Именно по этой причине делают генераторы с кварцевой стабилизацией, так

Входной преобразователь

Выходной преобразователь

20 см

Звукопроводящий брусок

Вход

Выход

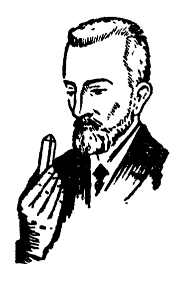
Рис. 71. Схематическое изображение линии задержки.

как в механических кристаллических системах потери значительно меньшие, чем в электрических системах; следовательно, можно получить очень высокую добротность схемы.

Л. — Здесь мы не ищем добротности ради самой добротности, и пьезоэлектрические материалы используются лишь для преобразования электрической волны в механическую. На частоте поднесущей механические колебания представляют собой совершенно неслышимый ультразвук; ультразвук пропускают по стальному стержню длиной около 20 *см*, на концах которого припаяны абсолютно идентичные пьезоэлектрические пластинки.

Н. — А разве можно припаять кварц на сталь?

Л. — Для этой цели используют титанат свинца, который имеет высокую точку Кюри.



Н. — О! Ты хочешь поместить в телевизор радиоактивные вещества. Но ведь это же очень опасно!!!

Л. — Знаменитый физик Пьер Кюри (который как раз изучал пьезоэлектричество) занимался не только радиоактивностью. Он провел исследования по ферромагнетизму и фероэлектричеству. Он открыл, что если нагреть пьезоэлектрический материал выше определенной для него температуры (точки Кюри), он теряет свои свойства. Но пользуясь специальным припоем, который плавится при более низкой температуре, чем олово, можно легко припаять титанат свинца к стали и тем самым обеспечить между ними хорошую механическую связь.

Н. — Таким образом, линия задержки представляет собой стальной стержень длиной 20 *см*, к обоим концам которого припаяны пластинки из титаната свинца.

Л. — А 20 *см* это как раз тот путь, который ультразвуковая волна проходит за 64 *мксек*. А для создания такой же задержки при прохождении электромагнитной волны в вакууме потребовалась бы линия длиной в 20 *км*.

Н. — Но наша линия не имеет никакого смысла!

Л. — Почему же?

Н. — У нее нет ни входа, ни выхода; ею можно пользоваться в обоих направлениях.

Л. — Это свойство, присущее любому пассивному линейному элементу.

Н. — Попробуем рассчитать длину линии задержки для яркостного сигнала

$$\frac{20\ см \cdot 0{,}7\ мксек}{64\ мксек} = 2{,}2\ мм.$$

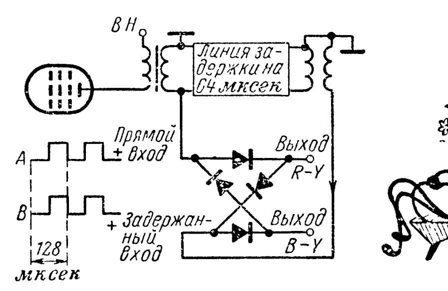


Рис. 72. Схема инвертора и форма прямого и задержанного сигналов.

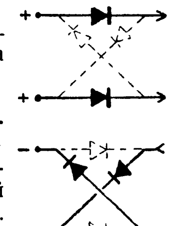
Да тут и паять-то негде!

Л. — Да нет же! Линия задержки для канала яркости должна быть совсем иного типа: это электрическая линия с распределенными постоянными. Она должна быть широкополосной, а не только пропускать узкую полосу, сконцентрированную на частоте поднесущей. И ты свободно можешь припаять к ней выводы, так как она имеет в длину добрый десяток сантиметров.

Что же касается электронного инвертора...

Триггер, генератор, ограничители и дискриминаторы

Н. — Думаю, что по схеме я понял, как он работает. Когда напряжение на обоих входах положительное, горизонтальные диоды пропускают ток, а расположенные накрест диоды заперты. Когда напряжение отрицательное, все происходит наоборот. Следовательно, на входные сигналы инвертора нужно наложить чередующиеся положительные и отрицательные селектирующие импульсы, ибо полярность сигналов изменяется от строки к строке. Эти селектирующие импульсы мог бы выдавать триггер с двумя устойчивыми состояниями, возбуждаемый строчными импульсами; но я не вижу ничего подходящего.



Л. — Триггер с двумя устойчивыми состояниями существует; однако сделать его можно и на одной лампе — на гептоде, включенном по схеме *фантастрона*.

Н. — Что это за новая «фантазия»?

Л. — Это лампа, которая периодически запирается отрицательными строчными импульсами большой амплитуды, приложенными к сетке первой; благодаря использованию отрицательной обратной связи между анодом и сетками второй и третьей создается триггер с двумя устойчивыми состояниями.

Н. — Что касается выхода линии задержки, он соединен со вторым входом инвертора через посредство трансформатора. Возникает ли здесь вопрос согласования сопротивлений?

Сопротивление линии задержки комплексное (т. е. не чисто омическое) и небольшое; при включении в цепь линия задержки создает затухание порядка 20 *дб*, которое компенсируется повышающим трансформатором.

Н. — Две вещи в схеме меня беспокоят.

Л. — Что же именно?

Н. — Прежде всего я вижу на выходе инвертора два диодных ограничителя, т. е. в общей сложности три ограничителя. Скажи, здесь ничего не напутали?

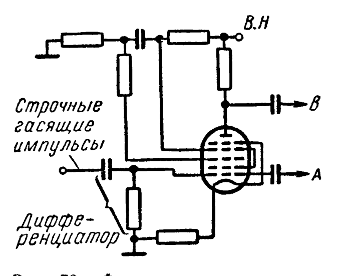


Рис. 73. Фантастрон — триггер с двумя устойчивыми состояниями.

Л. — Совсем нет. Ограничитель на входе блока цветности декодирующего устройства фактически выполняет роль «предварительного ограничителя». После электронного инвертора еще могут быть небольшие различия в уровнях задержанного и прямого сигналов. Впрочем, регулируя поляризующий диоды ток, можно изменять амплитуду поднесущей на выходе ограничителей и, таким образом, осуществлять регулирование насыщенности. В самом деле, амплитуда сигналов цветности должна изменяться как амплитуда яркостного сигнала. Вот поэтому регулятор контрастности и воздействует на эту поляризацию. Впрочем, в этом месте схемы предусмотрена подстройка отношения яркость — цветность, которую должен производить специалист.

Н. — Я вижу, что в качестве частотных детекторов используются дискриминаторы «с фазовращающей цепью», которые в радиоприемниках применяются не так часто, как «дробные» дискриминаторы. И тем не менее два момента меня заинтриговали.

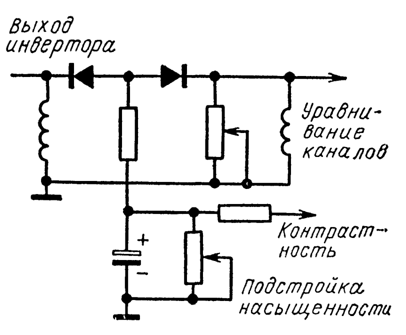
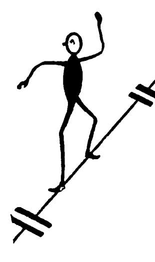


Рис. 74. Схема одного из ограничителей на выходе инвертора.

Л. — Давай разберемся с этим вопросом.

Н. — Мне кажется, что в классической схеме средняя точка осуществляется выводом со вторичной обмотки трансформатора.

Л. — И ты прав. Здесь же мы имеем дело с дискриминатором, который должен быть очень стабильным на частоте настройки и при этом иметь значительно более широкую полосу пропускания, чем используемые в радиовещательной аппаратуре дискриминаторы. Высокая стабильность частоты настройки необходима из-за того, что, как ты уже мог убедиться, постоянная составляющая сигнала цветности затем передается полностью вплоть до управляющих электродов кинескопа. Оказалось, что бифилярная третичная обмотка для этой цели невыгодна, и поэтому предпочли создать искусственную среднюю точку с помощью мостика из конденсато-



ров; связь осуществляется через общую индуктивность катушки L (а не с помощью магнитной индукции). Таким образом, возможный уход частоты от температуры (вследствие изменения характеристик диодов и других компонентов) сведен к минимуму.

В царстве видеосигналов

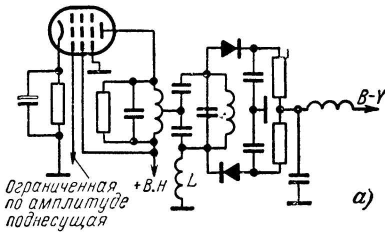
Н. — Я понял. Можешь ли ты объяснить теперь, почему диоды дискриминатора ($R-Y$) имеют обратную по сравнению с диодами дискриминатора ($B-Y$) полярность?

Л. — Очень просто. Разве профессор Радиоль не сказал, что сигналы цветности имеют противоположные знаки?

Н. — Разумеется. Таким образом восстанавливают правильную полярность. Я узнал на схеме матрицу из резисторов, которая производит операцию

$$-(G-Y)=$$
$$=\frac{1}{2}(R-Y)+\frac{1}{6}(B-Y),$$

а затем триод меняет знак «—» на знак «+». Но почему все три видеоусилителя собраны по таким разным между собой схемам?



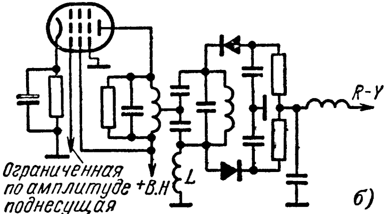


Рис. 75. Дискриминаторы.

а — ($B-Y$); *б* — ($R-Y$). Эти дискриминаторы идентичны по своему устройству (за исключением полярности диодов), но рассчитаны на частоты, несколько различающиеся между собой.

Л. — Ты, несомненно, имеешь в виду, что резистивно-емкостная отрицательная обратная связь имеется только в усилителях ($R-Y$) и ($B-Y$).

Н. — Совершенно верно. Почему в усилителе ($G-Y$) нет этой избирательной отрицательной обратной связи?

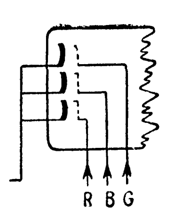
Л. — Очень просто, потому что необходимо восстановить форму предыскаженных сигналов ($R-Y$) и ($B-Y$), а сигнал ($G-Y$) формируется из уже прошедших коррекцию предыскажений сигналов ($B-Y$) и ($R-Y$) и поэтому в такой коррекции не нуждается.

Н. — На схеме кое-чего не хватает.

Л. — Ты хочешь сказать о цветовой синхронизации и запирании канала цветности; но наберись терпения, мы подойдем к этому вопросу.

Н. — Я совсем не о том. Между яркостным сигналом и сигналом цветности не хватает матрицы, позволяющей восстановить первоначальные сигналы, которые подаются на управляющие электроды.

Л. — В этой матрице нет необходимости. Яркостный сигнал подается на все три катода, и сигналы цветности — на три соответствующих управляющих электрода кинескопа.



Следовательно, электронные лучи модулируются разностью между цветоразностными сигналами и яркостным сигналом, т. е тремя первоначальными сигналами.

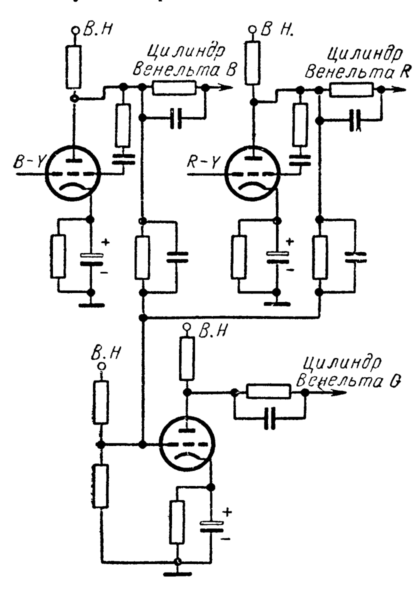


Рис. 76. Матрица из резисторов позволяет получить зеленый цветоразностный сигнал из красного и синего цветоразностных сигналов.

Н. — Но это же история для сумасшедших! Ради экономии трех резисторов ты используешь четыре лампы вместо трех.

Л.— Будь повнимательнее. Для усиления первоначальных сигналов тебе понадобилось бы три усилителя с шириной полосы 5 *Мгц*. При используемом же нами решении нужен лишь один усилитель на 5 *Мгц* (для яркостного сигнала) и три усилителя на 1,5 *Мгц* (для сигналов цветности). Подсчитай, и ты увидишь, что мы остались в выигрыше.

Н. — Я не учел аспекта «полосы пропускания» этого вопроса. Для завершения ознакомления с декодирующим устройством нам остается лишь рассмотреть цветовую синхронизацию и запирание каналов цветности. Я хорошо помню изложенный профессором Радиолем принцип, но как выполняют эту задачу?

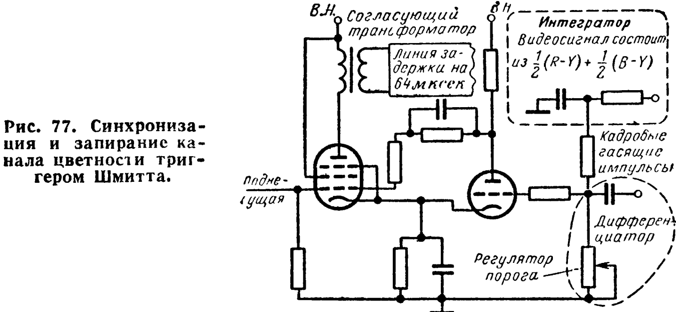


Рис. 77. Синхронизация и запирание канала цветности триггером Шмитта.

Как убить цвет

Л. — Забудь на минуту о том, что изображенный на рис. 70 пентод выполняет роль усилителя поднесущей, и скажи мне, как соединены пентод и триод на схеме на рис. 70.

Н. — Катоды этих ламп соединены между собой. Часть анодного напряжения триода подается на сетку пентода. Это своеобразный триггер.

Л. — Верно, это триггер с двумя устойчивыми состояниями с катодной связью. Это устройство называют *триггером Шмитта.* Триггер Шмитта обладает следующим свойством: пока управляющее напряжение, приложенное на одну из сеток, остается меньше заданного *порога*, триггер остается в одном устойчивом состоянии, т. е. одна из ламп пропускает ток, а другая заперта; если управляющее напряжение превышает названный порог, то триггер переходит в другое устойчивое состояние, т. е. первоначально запертая лампа начинает пропускать ток, и наоборот; когда управляющее напряжение вновь снижается, триггер возвращается в свое первоначальное состояние, но при меньшей величине порога: говорят, что в этом случае имеет место явление *гистерезиса.*

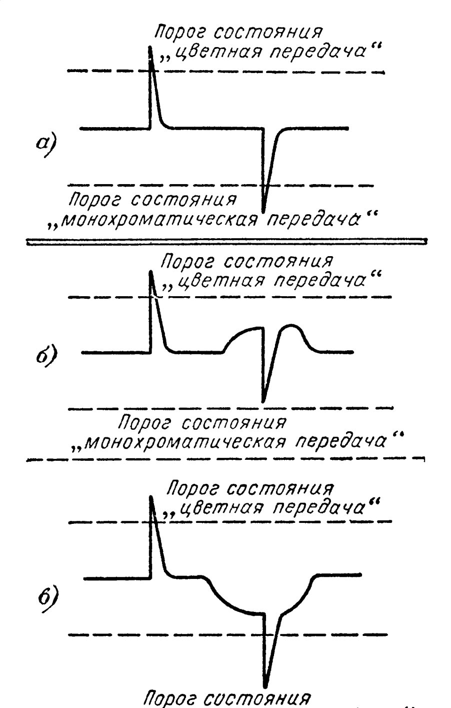


Рис. 78. Действие триггера Шмитта.

а — монохроматическая программа. Продифференцированный кадровый гасящий импульс; *б* — цветная программа. Продифференцированный кадровый гасящий импульс. Проинтегрированные сигналы опознавания цвета с правильной фазой; *в* — продифференцированный кадровый гасящий импульс. Проинтегрированные сигналы опознавания цвета с неправильной фазой.

Прилагаемый на сетку триода сигнал состоит из продифференцированных кадровых гасящих импульсов, подмешанных к сигналу цветовой синхронизации, т. е. представляет собой проинтегрированную сумму продетектированных строк опознавания. Фронт продифференцированного гасящего кадрового импульса имеет большую положительную величину и приводит триггер Шмитта в такое устойчивое состояние, когда ток проводит пентод; спад импульса имеет большую отрицательную величину и приводит управляющий триггер в такое устойчивое состояние, когда пентод заперт — в это время заперт весь блок цветности декодирующего устройства, так как этот пентод выполняет также роль первого каскада усилителя сигналов цветности. Следовательно, в отсутствие строк опознавания (монохроматическая передача) блок цветности декодирующего

устройства автоматически запирается. Таким образом, реализовано устройство, которое в английской литературе называется *colour killer* (убийцей цвета).

Н. — А запирание каналов цветности необходимо, так как при отсутствии поднесущей ограничители, которые должны выдавать постоянную мощность, стали бы усиливать шумы, разве не так?

Л. — Абсолютно верно. А теперь посмотрим, как эта схема запирания каналов цветности может служить для *синхронизации* инвертора декодирующего устройства, если его ритм не совпадает с ритмом работы инвертора кодирующего устройства.

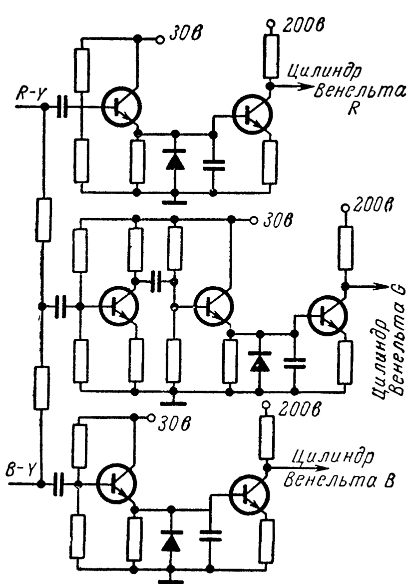


Рис. 79. Транзисторный вариант схемы, изображенной на рис. 76.

Когда все идет нормально, сигнал цветовой синхронизации, наложенный на задний фронт продифференцированного гасящего кадрового импульса, имеет большую положительную величину и «поднимает» этот отрицательный импульс. В таком положении он не может привести триггер в состояние «цвет заперт».

Если инвертор работает не в фазе, то сигналы ($R - Y$) и ($B - Y$) пойдут не в свои каналы, и сигнал цветовой синхронизации будет иметь отрицательную полярность. Канал цветности запирается, как в случае приема черно-белой передачи, а фантастрон получает дополнительный управляющий импульс (в момент, когда триггер Шмитта запирается), который возвращает ему правильный ритм.

Н. — И следовательно, начиная со следующего полукадра, когда передний фронт гасящего импульса включит пентод в рабочее состояние, инвертор будет работать с правильной фазой и все идет к лучшему в лучшем из цветных телевизоров... Но вся эта техника представляется мне весьма отсталой.

Полупроводниковые приборы вместо вакуумных

Л. — Что ты хочешь этим сказать? Мне кажется, что ты не признаешь внедрение цвета в телевидение большим техническим прогрессом.

Н. — Цвет, несомненно, прогресс, но согласись, что в наше время новый телевизор, собранный на одних лампах, выглядит не очень, современным.

Л. — Пойми, что схемы, которые я тебе показывал, всего лишь примеры возможных решений. А теперь, когда ты понял, как реализуются на лампах различные функции декодирующего устройства, ты будешь знать, как делают декодирующее устройство на транзисторах.

Н. — Заменяя для этого каждую лампу транзистором?

Л. — И пересчитывая схемы в соответствии с новыми напряжениями и сопротивлениями — это может быть первым этапом. Но использование транзисторов может повлиять и на саму конструкторскую мысль.

Н. — Каким образом?

Л. — Ну вот хотя бы сейчас твое замечание о четырех видеоусилителях оказывается полностью оправданным, так как обычные транзисторы для видеоканалов, легко пропускающие 6 *Мгц,* стоят ничуть не дороже транзисторов с полосой пропускания только на 1,5 *Мгц.* В этих условиях предпочтение следует отдать матрице на резисторах, формирующей первоначальные сигналы, и трем видеоусилителям. Принимая во внимание возможный уход характеристик полупроводниковых приборов от изменения температуры, несомненно, желательно не передавать постоянную составляющую, а предусмотреть в последнем каскаде устройство для ее *восстановления.* Но знай, что полная транзисторизация цветного телевизора в наши дни представляет собой довольно сложную проблему, по крайней мере для моделей с большим экраном.

Н. — Почему?

Л. — Прежде всего из-за блоков строчной развертки, которые требуют значительно бóльшей мощности, чем в монохроматических телевизорах. Точно так же и значительный ток высокого напряжения требует регулирования, которое можно осуществить только с помощью мощной лампы.

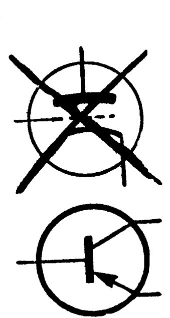
Н. — Но зачем, черт побери, ты хочешь регулировать высокое напряжение?

Л. — Ты хорошо понял, что траектория электронных лучей в кинескопе должна быть очень стабильной, чтобы электроны по ошибке не попадали не на тот люминофор.

Н. — И если высокое напряжение изменяется в зависимости от тока катодов (т. е. в зависимости от содержания изображения), есть риск возникновения искажений в чистоте изображения.

Л. — Вот именно!

Н. — Иначе говоря, с точки зрения техники используемых компонентов, цветное телевидение все же является шагом назад.



Л. — И да и нет. Транзисторы день ото дня совершенствуются, а кроме того, все, что я тебе сказал, относится лишь к масочному кинескопу. Появление новых типов кинескопов позволит в ближайшее время полностью транзисторизовать цветной телевизор

Н. — Ты, вероятно, имеешь в виду разработки, о которых говорил демонстратор в Международном музее электроннолучевой трубки. Будем надеяться, что это совершится очень скоро, так как компромисс между такой передовой техникой, как цветное телевидение, и техникой электронных ламп, которые доказали свои возможности, но теперь пришли в упадок, меня очень смущает.

Сложное устройство цветного телевизора вполне естественно требует специфической регулировки. В ходе беседы Любознайкин старается показать своему молодому другу, что, располагая соответствующим генератором сигналов и пользуясь в работе определенной системой, можно наладить телевизор примерно за 20 мин. Следовательно, в настоящей главе разговор пойдет о следующем:

Регулировка чистоты. Статическая сходимость. Динамическая сходимость. Цветовой тон фона. Испытательная таблица из цветных полос. Регулировка дискриминатора. Клеш-фильтр и коррекция предыскажений. Матрица. Прибор «Сервохром». Можно ли сказать, что это «почти просто»!

УСТАНОВКА И РЕГУЛИРОВКА ТЕЛЕВИЗОРА. СПЕЦИАЛЬНАЯ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

Незнайкин боится осложнений

Любознайкин. — Здравствуй, Незнайкин. У тебя в квартире очень мило!

Незнайкин. — Добрый день, Любознайкин! Ты разве первый раз попал в мою пещеру?

Л. — Да, и я очень счастлив видеть, что после бесед о радио и телевидении ты принял нашу веру.



Н. — Мой дорогой друг, ты внушил мне страсть к радиотехнике, и я стал радиотехником в основном из-за удовольствия мастерить. Я продаю и ремонтирую радиоприемники и телевизоры; но, по правде сказать, мне все реже приходится брать в руки паяльник, так как современная аппаратура не так уж часто выходит из строя.

Л. — Технический прогресс, мой дорогой друг...

Н. — В результате этого часы моего досуга я посвящаю самообразованию. Но скажи, у меня складывается впечатление, что цветные телевизионные приемники неизмеримо сложнее классических телевизоров. И я боюсь, что скоро меня завалят работой, потому что, как мне кажется, придется производить множество сложных регулировок.

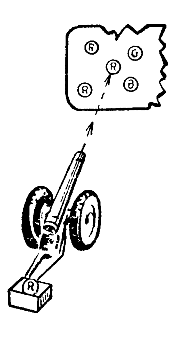
Л. — Не надо преувеличивать! Налаживание цветного телевизора, несомненно, требует большого количества более сложных операций, чем налаживание монохроматического телевизора, но совершенно нет необходимости быть крупным специалистом, чтобы справиться с этой задачей. Хорошо знающий свое дело радиотехник очень быстро освоит эту

новую технику, тем более что существуют специальные испытательные таблицы для цветных телевизоров, а кроме того, как ты знаешь, цветной телевизор в основном состоит из черно-белого телевизора, в котором видеоблок и кинескоп заменили кое-чем новым. Следовательно, все, что относится к антеннам, блокам переключения телевизионных каналов, ПЧ усилителям, детекторам и каналам звука, тебе уже достаточно знакомо. Наибольшие трудности тебе может доставить кинескоп и непосредственно связанные с ним узлы и схемы.

В поисках чистоты

Н. — Можешь ли ты, например, дать мне инструкции относительно регулировки чистоты?

Л. — Нет ничего проще. Тебе нужно обеспечить, чтобы *исходящие из электронной пушки электроны попадали только на соответствующие им точки люминофора* (для примера мы возьмем «красный» электронный луч, потому что искажения цветового тона этого цвета наиболее заметны для глаза). Следовательно, нам нужно отключить две другие электронные пушки. (На телевизорах, как правило, бывают предназначенные для этой цели выключатели. Мы можем достичь такого же результата другим путем, например, установив на управляющих электродах очень низкое напряжение.) Чтобы хорошо наблюдать явление, на экране не должно быть изображения, т. е. подаваемый на телевизор сигнал должен содержать только сигналы синхронизации, что очень легко сделать с помощью твоего генератора тест-таблицы для черно-белого телевидения. Что ты тогда увидишь?



Н. — Ровным счетом ничего!

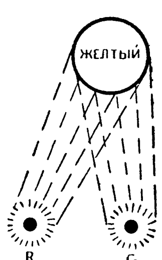
Л. — Хорошо! А если теперь ты установишь напряжение на управляющих электродах красной электронной пушки выше его нормального уровня?

Н. — Тогда экран станет равномерно красным.

Л. — Этого и нужно желать, так как в этом случае цвет будет исключительно чистым. Но если в одном углу ты заметишь желтое пятно, что это означает?

Н. — Если я хорошо помню треугольник Максвелла и демонстрировавшиеся во Дворце открытий опыты, желтый цвет получается в результате смешивания красного и зеленого цветов.

Л. — Совершенно верно! А следовательно, появление желтого пятна означает, что исходящие из «красной» электронной пушки электроны попадают также на зеленый люминофор.



Н. — Но что же нужно сделать?

Л. — Прежде всего тщательно размагнитить телевизор с помощью катушки индуктивности, подключенной к сети переменного тока Убедись, что центр экрана чист, т. е. что электронный луч в центре экрана попадает точно на таблетку красного люминофора.

Н. — А если этого не будет?

Л. — Такое может случиться и означает, что отклоняющая система установлена неправильно; она могла сдвинуться при перевозке телевизора.

Н. — И тогда достаточно установить и закрепить отклоняющую систему в нужном положении. Понятно, но для выполнения такой работы необходимы два человека.

Л. — А зачем? Я полагаю, что эта работа не такая тяжелая!

Н. — А как я узна́ю, что нашел нужное положение для катушки, если я не вижу на экране центрального красного пятна? Нужно работать вдвоем: один смотрит на экран, а второй стоит позади телевизора и перемещает отклоняющую систему

Л. — Если ты в состоянии оплачивать помощника, то пожалуйста, в противном случае я рекомендую тебе воспользоваться зеркалом

Н. — Но это же очевидно; до чего же я глуп! Эту регулировку выполнить очень просто, и теперь мой экран безупречно чист.

Л. — Полно! Как ты торопишься.. Твой экран безупречно чист в центре, но по краям еще могут быть пятна.

Н. — Занятно! Уж не изогнуть ли катушки?

Л. — Я не советую тебе делать этого, тем более что кинескопы оснащены кольцом чистоты — небольшим магнитом, который нужно вращать до тех пор, пока весь экран не станет равномерно красным и без пятен На самом же деле имеются два намагниченных кольца; когда вращают их одно относительно другого, изменяют напряженность магнитного поля, а когда вращают одновременно оба кольца, изменяют направление магнитного поля.

Н. — Хорошо. Теперь понял. Сначала я регулирую чистоту в центре экрана, затем по краям, а потом ставлю телевизор в магазин в ожидании покупателя.

Л. — Не делай этого, не регулируй телевизоры перед отправкой их на склад!

Н. — Ты хочешь, чтобы я занимался всем этим колдовством под насмешливым взглядом покупателя?

Л. — А почему бы и нет? Впоследствии покупатель будет тебе за это признателен; цветной кинескоп также чувствителен, как буссоль: если ты отрегулируешь его для данной величины и направления земного магнитного поля, то твоя регулировка теряет всякий смысл, если ты хоть немного повернешь свой телевизор.

Н. — Да от этого можно потерять голову! Я думаю, что мне стоит продать свою лавочку.

Сходимость и еще раз сходимость

Л. — Не отчаивайся, Незнайкин; за двадцать минут дома у покупателя ты сможешь отрегулировать все, что ново и специфично, все, что относится к «цвету» в цветном телевизоре. Я отвел тебе пять минут для регулировки чистоты; а теперь я даю тебе еще пять минут на регулировку *сходимости.*

Н. — То есть для правильного геометрического наложения одно на другое трех первичных изображений. Как же это делают?

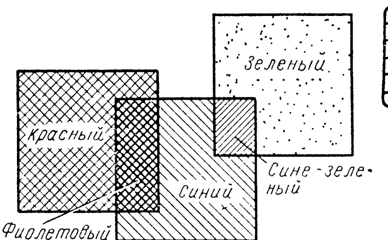
Л. — К телевизору подключают генератор тест-таблицы из квадратов или лучше из квадратных точек (белых на черном фоне). Регулировщик рассматривает пересечение белых полос (или же белую точку) в центре экрана; чаще всего, когда сходимость не отрегулирована, видны три квадрата (красный, зеленый и синий), которые могут частично перекрывать друг друга.

Н. — Такое явление можно иногда видеть на плохо напечатанных цветных картинках в журналах.

Л. — Только издательство не снабжает свой журнал тремя магнитами для корректировки стрельбы.

Н. — А что же делают с этими магнитами?

Л. — Их располагают вокруг горловины между электронными пушками и отклоняющей системой.



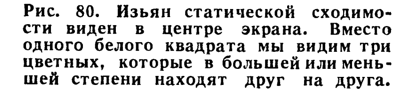


Рис. 80. **Изъян статической сходимости виден в центре экрана. Вместо одного белого квадрата мы видим три цветных, которые в большей или меньшей степени находят друг на друга.**

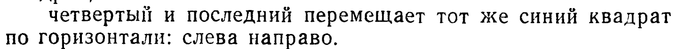
Н. — Так это зеркало с повторным отражением!

Л. — Как удачно ты сказал! У нас четыре магнита:

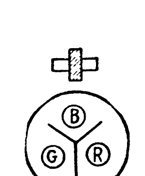
первый поворачивает красный квадрат на 60°;

второй воздействует на зеленый квадрат, но в обратном направлении (следовательно, тоже поворачивает на 60°);

третий поднимает или опускает синий квадрат;



четвертый и последний перемещает тот же синий квадрат по горизонтали: слева направо.



Н. — Одним словом, это так же сложно, как игра в шахматы. А ты хорошо знаешь, что я умею играть лишь в шашки

Л. — Не беспокойся, это не столь уж сложно. Сначала отключи «синюю» электронную пушку, и, воздействуя на два первых магнита, ты можешь получить в центре четкий маленький желтый квадрат без красной и зеленой окантовок. Затем ты вновь зажжешь «синюю» электронную пушку и с помощью двух последних магнитов наложишь синий квадрат на желтый, чтобы получить белый квадрат без цветных окантовок.

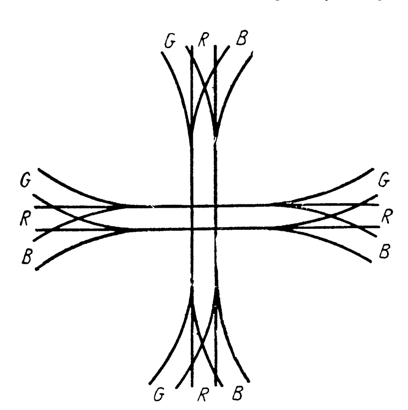
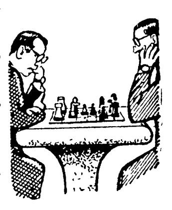


Рис. 81. **Изъян динамической сходимости виден на краях экрана. В центре сходимость отрегулирована правильно.**

Н. — И вот сходимость достигнута!

Л. — Ты забыл одно слово.

Н. — Ты что хочешь теперь заняться упражнениями по стилистике?



Л. — Нет, телевидением и цветным... Ты должен был сказать и вот мы отрегулировали *статическую* сходимость. Ибо ничто не доказывает, что этот маленький белый квадратик не расходится к краям экрана на красную, зеленую и синюю полосы.

Н. — И, следовательно, есть еще один регулятор сходимости...

Л. — Да, но сходимости *динамической.*

Н. — Я думаю, что действительно придется продать мою лавочку!

Л. — Поверь мне, сейчас неподходящий момент, тем более что регулировка динамической сходимости тоже не очень сложна, и так как она производится путем дозирования тока в маленьких катушках, исправляющих траекторию электронных лучей, эта регулировка производится с помощью потенциометров, доступных с лицевой стороны телевизора, но только для техника. Теперь ты можешь отбросить свое зеркало и слепо следовать инструкции, выданной заводом, сделавшим этот телевизор.

Пять минут на регулировку цветового тона фона

Н. — Ты выделил мне двадцать минут на регулировку телевизора. Десять из них уже истекли, и остается еще десять.

Л. — Хорошо рассчитано, Незнайкин, но само собой разумеется, что прежде, чем приступить к описанным регулировкам, ты сделал то, что обычно нужно сделать на черно-белом телевизоре: подстройка частоты строчной и кадровой разверток и линейности строк. Я еще раз подчеркиваю до, так как эти регулировки влияют одна на другую. Из десяти оставшихся нам минут мы выделяем пять на регулировку *цветового тона фона.*

Н. — Постой, я больше ничего не понимаю. Я везде читал, что в современных системах цветного телевидения, например SECAM и PAL, нет надобности регулировать цветовой тон.

Л. — Ты совершенно прав, но ты еще опять забыл одно слово. Ведь я сказал «регулировать *цветовой тон фона».*

Н. — Я действительно упустил это слово; но в чем заключается этот нюанс?

Л. — Ты знаешь, что в цветном кинескопе имеются три электронные пушки. Однако ты согласен, что, когда на кинескоп не подается видеосигнал, экран должен быть совершенно черным, а это означает, что электронный ток должен исчезать одновременно во всех трех пушках.

Н. — Это кажется мне совершенно ясным, хотя речь и идет о «черном».

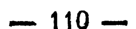
Л. — Точно так же и в том случае, если на все три электронные пушки подается одинаковый видеосигнал, т. е. если $R = G = B$, то экран должен иметь абсолютно нейтральный серый цвет и даже белый, если одинаковый для всех трех пушек видеосигнал имеет максимальную величину.

Н. — Это кажется Закон Ньютона, который гласит, что сочетание трех первичных цветов в одинаковой пропорции дает нейтральный серый цвет.

Л. — Да, если ты хочешь назвать закон, но это происходит прежде всего потому, что наши три первичных цвета были специально подобраны для этой цели. Для нашего кинескопа это означает, что отношения ток/свет всех трех электронных пушек должны быть идентичными во всех точках характеристики, что обеспечивает всю шкалу серых тонов без нежелательного цветового оттенка.

Н. — А как в этом убедиться?

Л. — Очень просто. Прежде всего выключи кадровую



развертку, чтобы получить посередине экрана очень яркую горизонтальную полосу, затем повышай напряжение на экранирующих сетках (G_2), чтобы выйти на точку характеристики, соответствующую почти полному потуханию лучей электронных пушек. Потом вновь включи кадровую развертку и повышай напряжение на цилиндрах Венельта с тем, чтобы белый цвет был абсолютно чистым без ненужного цветового оттенка. Эту операцию можно упростить, если твой генератор сигналов может выдавать пилообразный сигнал, синхронизированный строчной или кадровой частотой. В этом случае ты можешь увидеть, какая из трех пушек «поднимается» быстрее или медленнее, чем две другие, и выровнять ток ее луча.

Существует специальный генератор для налаживания цветных телевизоров, получивший название *«сервохром»*, который кроме прочего выдает сигнал тест-таблицы из квадратов и сигнал ступенчатой шкалы серых тонов.

Н. — И тем не менее я могу производить регулировку чистоты, сходимости и цветового тона фона с помощью уже имеющейся у меня измерительной аппаратуры.

На стороне кодирующего устройства

Л. — А также принимая испытательную таблицу, передаваемую Национальным центром телевизионного вещания. Но, как ты впоследствии убедишься, ты можешь облегчить свою работу, купив генератор сигналов вроде «сервохрома», принципы работы которого я тебе объясню, или генератор тест-таблицы в виде цветных полос наподобие той, что передается Национальным центром телевизионного вещания.

Н. — Что представляет собой эта тест-таблица?

Л. — Она состоит из восьми вертикальных полос, расположенных слева направо в следующем порядке:

Белый	Желтый	Сине-зеленый	Зеленый	Пурпурный	Красный	Синий	Черный

Ты видишь, что цвета расположены в порядке убывания яркости. Все они имеют 100%-ную насыщенность (разумеется, кроме белого и черного); первичные цвета получают с помощью простых видеосигналов. Амплитуда этих первичных может составлять 75 или 30% от номинального уровня (т. е. белый в этом случае представляет собой серый на 75 или 30%, хотя иногда белый подается на уровне 100%, а амплитуда остальных семи полос устанавливается на уровне 75 или 30%).

Н. — А для чего нужны эти полосы?

Л. — Теперь, когда за четверть часа ты отрегулировал блоки кинескопа, тебе остается пять минут для проверки правильности работы декодирующего устройства.

Н. — Так не будем терять времени!

Л. — Необходимости торопиться нет. Помнишь ли ты основные узлы декодирующего устройства?

Н. — Я перечислю их по ходу сигнала сверху вниз и постараюсь при этом ничего не забывать:

клеш-фильтр;
линия задержки сигнала цветности;
электронный инвертор и схемы синхронизации;



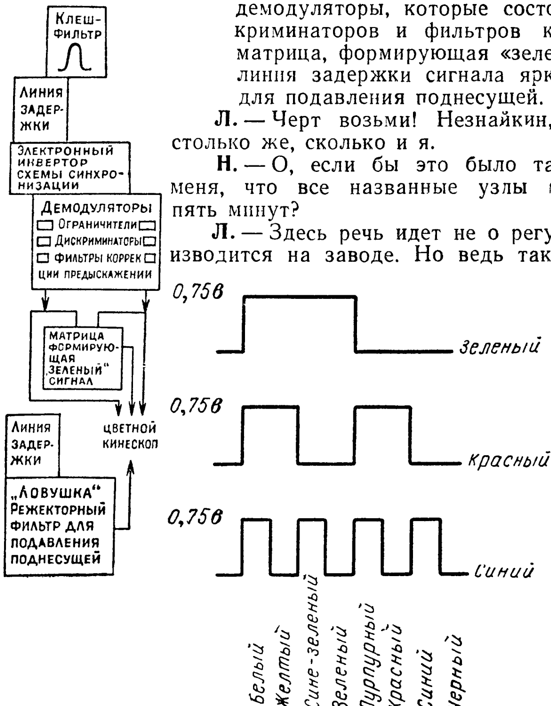


Рис. 82. Форма первичных сигналов при уровне модуляции 75%. Сложение этих сигналов позволяет получить на экране цветные полосы.

демодуляторы, которые состоят из ограничителей, дискриминаторов и фильтров коррекции предыскажений;
матрица, формирующая «зеленый» сигнал;
линия задержки сигнала яркости и режекторный фильтр для подавления поднесущей.

Л. — Черт возьми! Незнайкин, ты скоро будешь знать столько же, сколько и я.

Н. — О, если бы это было так! И ты хочешь убедить меня, что все названные узлы можно отрегулировать за пять минут?

Л. — Здесь речь идет не о регулировке: регулировка производится на заводе. Но ведь такой добросовестный радиотехник, как ты, должен иметь генератор цветных полос или «сервохром», чтобы проверить, что все работает так, как нужно. Прежде всего ты должен проверить, правильно ли настроены дискриминаторы.

Н. — А зачем? Я продал уже немало радиоприемников с блоком частотной модуляции, но никогда не проверял эту настройку.

Л. — И ты правильно делал. Но, как ты знаешь, в цветных телевизорах постоянная составляющая цветности обычно проходит от дискриминаторов до кинескопа. Поэтому, в тех случаях, когда дискриминатор расстроен, т. е. если, воспринимая немодулированную поднесущую, он будет выдавать не равное нулю напряжение, ты получишь на экране нежелательный цветовой оттенок.

Н. — Но ведь это не имеет сколько-нибудь существенного значения; если такое случится, мне достаточно отрегулировать соответствующим образом цветовой тон фона и ненужный оттенок исчезнет.

Л. — Ты неправ. Знаешь ли ты, что произойдет в этом случае при приеме монохроматической программы?

Н. — Разумеется! Отсутствие сигналов опознавания цвета запрет каналы цветности декодирующего устройства и на все три пушки кинескопа будет подаваться только сигнал яркости

Л. — Ты, безусловно, хорошо выучил свой урок. Но ведь ты нарушил регулировку цветового тона фона, так что же произойдет?

Н. — Монохроматическое изображение приобретет нежелательный цветовой оттенок, который будет дополнительным к тому, который был на цветном изображении перед тем, как мы разрегулировали цветовой тон фона.

Л. — Теперь ты можешь очень легко понять, каким методом регулируют дискриминаторы. Если ты располагаешь генератором цветных полос, то ты можешь убрать модуляцию

поднесущей; тогда получишь на экране монохроматическое изображение, хотя декодирующее устройство и не будет заперто. Нужно, чтобы цветовой тон фона был один и тот же как при немодулированной поднесущей, так и вообще без поднесущей (или без строк опознавания), иначе говоря, как при работающем, так и при отключенном декодирующем устройстве. Для подстройки нужно повернуть сердечник катушки дискриминатора (но не ошибись сердечником: другой сердечник воздействует на линейность!); красный и синий

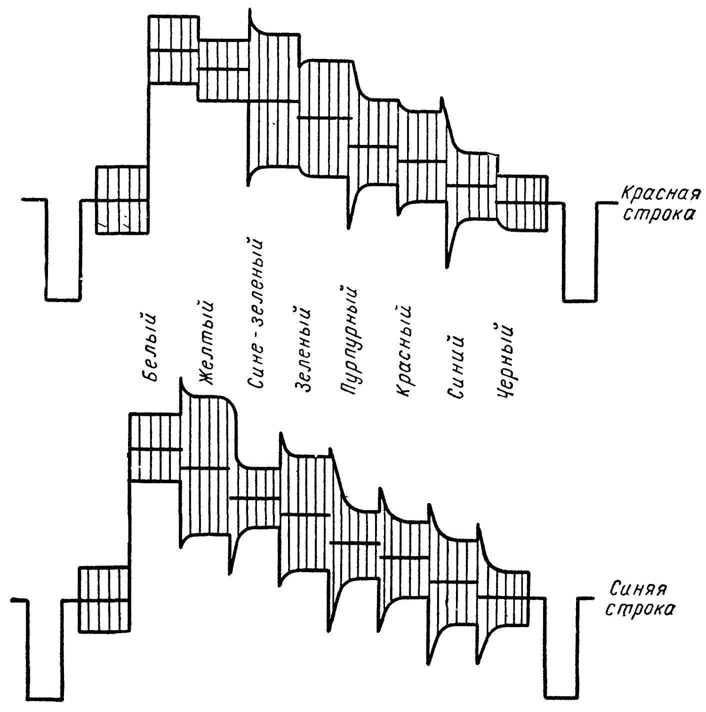
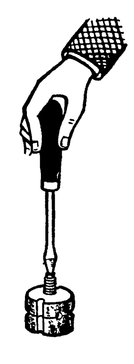


Рис. 83. Снятый с экрана осциллографа реальный точный сигнал с амплитудой на уровне 75%.

дискриминаторы подстраиваются раздельно при отключенной другой пушке кинескопа.

Н. — А эта регулировка очень капризная?

Л. — Нет, произвести ее довольно легко, так как допуск достаточно велик: ±14 *кгц*. Впрочем, когда я объясню тебе принцип работы «сервохрома», ты сам увидишь, что такую регулировку может сделать и ребенок. Этой операцией ты воспользуешься, чтобы проверить, что система запирания декодирующего устройства правильно работает в отсутствие сигналов опознавания цвета; одновременно следует проверить и правильность работы схем синхронизации электронного инвертора. Если обнаружишь неисправность, то посмотри, правильно ли «расположен» во времени кадровый гасящий импульс относительно сигналов опознавания цвета; если и в этом случае блок работает плохо, нужно воздействовать на порог срабатывания триггера Шмитта.

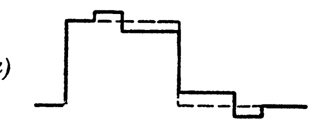


Последние три минуты

Н. — А сколько времени мне теперь остается?

Л. — Три минуты, это больше, чем нужно! Проверим клеш-фильтр и фильтры коррекции предыскажений. Неправильная регулировка этих фильтров маловероятна и могла бы вызвать удивление, так как и здесь допуски большие (±80 *кгц* для клеш-фильтра). Фильтры коррекции предыскажений обычно вообще не регулируются, и поэтому риск, что они разрегулируются, исключается. Затем ты уменьшишь модуляцию цветных полос до 30%, чтобы лучше разглядеть переходы. Это необходимо, так как при кодировании после определенного порога вершины предыскаженных сигналов срезаются.

а)



б)

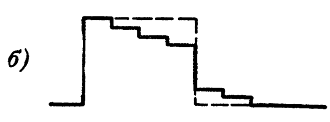


Рис. 84. Зеленый сигнал.
а — прошедший через разбалансированную матрицу (красного больше, чем синего); *б* — слишком мала насыщенность (сигнал *Y* слишком велик).

Н. — Это я знаю. Это делается для того, чтобы предотвратить перемодуляцию на частном модуляторе.

Л. — Совершенно верно. Само собой разумеется, что в этом случае происходит некоторая потеря хроматической разрешающей способности. Следовательно, ты будешь рассматривать переходы с малой амплитудой; хорошей регулировкой клеш-фильтра считается такая, которая дает минимальную длительность фронта без переходных колебаний. На экране осциллографа ты можешь видеть поднесущую после клеш-фильтра. Она должна иметь постоянную амплитуду. Но необходимо принять меры предосторожности и выключить на твоем генераторе сигнал *Y*, так как в присутствии этого сигнала иногда (если первый усилитель декодирующего устройства вносит помеху типа «дифференциальное усиление») поднесущая кажется модулированной даже в том случае, когда клеш-фильтр настроен безукоризненно.

Н. — Что же остается сделать?

Л. — Почти ничего. Ты проверишь правильность работы матрицы, формирующей зеленый сигнал, и точность соотношения яркость/цветность (т. е. точность воспроизведения насыщенности). Для этого тебе достаточно посмотреть зеленую составляющую изображения цветных полос. Ты знаешь, что четыре первые полосы имеют одинаковую амплитуду зеленого.

Н. — А четыре последние полосы — одинаковую амплитуду черного.

Л. — Именно так. А что будет означать, если ты все же увидишь восемь полос (вместо двух: одной зеленой и одной черной) и каждая вторая будет более яркой?

Н. — Я понял бы так, что часть синего сигнала попала в зеленый. Потому что появление четырех зеленых полос, чередующихся с четырьмя черными полосами, означало бы возникновение перекрестных влияний зеленого и синего...

Л. — Совершенно верно; в этом случае достаточно уменьшить количество синего, поступающего в матрицу для форми-



рования зеленого сигнала. А если яркость зеленого участка экрана равномерно убывает слева направо, то это означает, что в зеленом сигнале содержится слишком много сигнала *Y*. Ты исправишь это путем уменьшения степени ограничения... и на этом закончишь регулировку телевизора. После этого ты можешь выписать покупателю счет.

Н. — Но... а линии задержки?

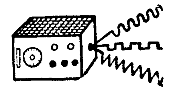
Л. — С ними ничего не надо делать: они пассивные компоненты. Ведь ты же не регулируешь резисторы...

Н. — А ведь верно! А я то ждал более сложного.

Л. — Не обольщайся. Регулировка первого телевизора, несомненно, займет у тебя больше часа; но ты очень быстро освоишься, особенно если заведешь себе «сервохром».

Действительно универсальный генератор

Н. — Уже несколько раз я слышу это варварское слово, а ты обещал объяснить мне принцип работы этого нового прибора.



Л. — «Сервохром» — генератор, выдающий все сигналы, которые могут понадобиться тебе для обслуживания (поэтому «серво» от слова «сервис» — обслуживание) цветных телевизоров (отсюда «хром») без какой-либо другой измерительной аппаратуры, т. е. проверка производится непосредственно по изображению на экране телевизора. Следовательно, этот аппарат очень удобен для работы на дому у покупателя, потому что он полностью независим. Кроме того, он дает монохроматические сигналы:

для регулировки чистоты: импульсы синхронизации;

для регулировки сходимости: тест-таблица из квадратов;

для регулировки цветового тона: вертикальная шкала серых тонов.

Он выдает также сложные сигналы для регулировки декодирующего устройства Тебе остается лишь наблюдать на своем экране два участка и убедиться, что они идентичны.

Н. — ???

Л. — Рассмотрим в качестве примера регулировку красного дискриминатора. Ты отключаешь синюю и зеленую пушки. В сервохроме имеются два генератора с кварцевой стабилизацией, настроенные на средние частоты красного и синего. Экран окрашен в красный цвет. Ты выключаешь сигналы «генератор». Что происходит?

Н. — Экран становится черным.

Л. — Незнайкин, мой день не потерян: сегодня ты только в первый раз проявляешь невежество.

Н. — Но ведь нет сигнала.

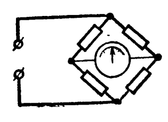
Л. — Подумаем. Что выдает дискриминатор, если на вход приложить синусоидальную волну с частотой, равной его частоте настройки?

Н. — Ничего.

Л. — Хорошо. А если на вход вообще ничего не подавать?

Н. — Дискриминатор и в этом случае ничего не выдаст...

Л. — Ты смотри! Следовательно, когда я отключаю сигнал-генератор, сигнал на выходе не должен изменяться и экран должен сохранить ту же яркость. В физике это назы-



вают *методом нуля.* Это самый точный метод; его, в частности, применяют с мостовой схемой или с мостом Уитстона. И тем не менее измерительный прибор (здесь глаз) может давать ошибку; от него требуется лишь быть чувствительным, потому что ему надлежит лишь определить, что два быстро чередующихся во времени светящихся участка экрана не различаются между собой по яркости.

Н. — Точно так же как и в мосте Уитстона гальванометр должен лишь обозначить нуль.

Л. — Точно так же как и перед повторном взвешивании, стрелка весов должна лишь вернуться в свое первоначальное положение.

Н. — Что ж, сервохром представляется мне исключительно умным прибором. А как быть с другими регулировками?

Л. — Они основаны на этом же принципе.

Н. — Решительно у меня теперь складывается впечатление, что цветное телевидение... это почти просто.

Л. — Незнайкин, дружище. Мне часто приходилось слышать от тебя: «Это дьявольски сложно». Но знай, что многие годы технические специалисты всемерно стремились облегчить твою работу.

Н. — И я благодарю их, а также и тебя, моего дорогого друга, за терпение, с которым может сравниться лишь наука.

Л. — Ты начинаешь рифмовать, уж не хочешь ли ты стать поэтом?

Н. — Несомненно. Впрочем, не является ли введение цвета в телевидение триумфом поэзии в дорогой нам радиотехнике?..

В КАЧЕСТВЕ ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Чудо цветного телевидения

Возможность передачи цветных изображений на крыльях электромагнитных волн граничит почти с чудом. К такому выводу неизбежно приходит читатель, старательно усвоивший содержание предшествующих страниц.

В телевидении, точно так же как и в кино, используется одно из несовершенств нашего зрения: его недостаточная разрешающая способность по времени; иначе говоря, сохранение зрительного ощущения, из-за которого мы воспринимаем все изображение целиком, хотя в каждый момент на экране кинескопа находится лишь часть этого изображения.

Недостаток пространственной разрешающей способности позволяет передавать цветные изображения без какого бы то ни было расширения полосы частот сигнала: глаз не различает цвета мелких элементов изображения и поэтому вполне достаточно небольшого количества информаций о цветности, для передачи которой в телевизионном сигнале выделяется лишь узкая полоса.

* *
*

Восшествие на престол цветного телевидения было значительно облегчено богатейшим опытом, накопленным в моно-

хроматическом телевидении. Как на передающей, так и на приемной стороне для передачи цвета используется значительная часть аппаратуры, разработанной для черно-белого телевидения. Наибольшие различия введены в состав видеосигнала (как в схемах кодирования, так и в схемах декодирования) и особенно в методах и аппаратуре преобразования светового изображения в электрические сигналы (телевизионные камеры) и обратного преобразования электрических сигналов в световое изображение (кинескопы).

Ничто в наши дни не выдерживает натиска радиоэлектроники. Для проблемы любой сложности находится решение.. если только не несколько, как, например (к сожалению!) в случае с цветным телевидением. Но в дополнение к очень ловко придуманным схемам предстоит еще найти средство для воспроизведения цветных изображений на экране кинескопа.

Проект масочной трубки при первом опубликовании представлялся неосуществимой утопией, так как предполагал немыслимую точность в геометрии всех ее элементов: электронных пушек, маски и трехцветного экрана. Однако и это также относится к числу современных чудес, трубка была сделана и превосходно работает!

* *
*

Масочный кинескоп совершенно не представляет собой конечной цели проводимых в этой области исследований — это всего лишь этап на пути развития цветного телевидения. Масочный кинескоп, несомненно, будет вытеснен другими, более совершенными моделями.

Эволюция техники имеет целью повысить энергетическую эффективность трубок (увеличить яркость изображения при меньших затратах энергии), сделать экраны плоскими и прямоугольными и уменьшить длину колб. Рано или поздно прогресс техники приведет к появлению устройства, которое уже нельзя будет называть «трубкой», потому что все оно будет состоять из плоского экрана, повешенного как картина на стену. Но до этого еще весьма далеко...

* *
*

Но уже в наши дни мечта стала действительностью: на сотни километров в округе передаются полные жизни изображения во всем многообразии красок и со своими звуками. Человек победил пространство и время. Волны веселым хороводом окружают земной шар.

И пусть это чудо пробудит у всех людей планеты чувство единства!

СОДЕРЖАНИЕ



E. Aisberg
J -P. Doury
La télévision en couleurs? C'est presque simple!
Société des éditions radio

Айсберг Евгений и Дури Жан-Пьер
Цветное телевидение?.. Это почти просто!

Редактор *Ю. Н. Рысев*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*
Технический редактор *Г. Г. Самсонова*
Корректор *Е. В. Кузнецова*

Сдано в набор 27/XI 1968 г.
Подписано к печати 16/IV 1969 г.
Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 2.
Усл. печ. л. 8,5+1 вкл. Уч.-изд. л. 9.22.
Тираж 100 000 экз. Цена 44 коп. Зак. 255.

Издательство «Энергия». Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Ордена Трудового Красного Знамени Ленинградская типография № 1 «Печатный Двор» имени А. М. Горького Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР, г. Ленинград, Гатчинская ул., 26.

Цена 44 коп.